



ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN
DEPARTMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT
INSTITUT UNR

**Einfluss von Mist und Gülle auf Flechten
am Bergahorn im Diemtigtal**

Bachelorarbeit

Corinne Obrist

Bachelorstudiengang 2014

Studienrichtung Umweltingenieurwesen

Abgabedatum: 05. April 2018

Korrektoren:

Daniel Hepenstrick

Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften, ZHAW

Prof. Dr. Christoph Scheidegger

Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL

Impressum

Zitiervorschlag:

Obrist, C. (2018): Einfluss von Mist und Gülle auf Flechten am Bergahorn im Diemtigtal. Bachelorarbeit. Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW. Zürich.

Autorin:

Obrist, Corinne
Hanfrosee 4
8055 Zürich

Institut:

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
Life Sciences und Facility Management
Grüntalstrasse 14, Postfach
8820 Wädenswil

Schlagwörter:

Flechte, *Evernia prunastri*, *Leptogium saturninum*, *Lobaria pulmonaria*, *Parmelia sulcata*, *Peltigera praetextata*, *Pertusaria albescens*, *Ramalina fraxinea*, Bergahorn, Bergahornweide, Mist, Gülle, Hofdünger, Bewirtschaftung.

Abkürzungen:

C1: Chemismus von Gülle
C2: Chemismus von Mist
S: Beschattung
SW: Beschattung und Befeuchtung
u. a.: und andere
etc.: et cetera
CHF: Schweizer Franken

Titelbild:

Bergahornlandschaft im Diemtigtal; Foto: Corinne Obrist

Abstract

Maple wooded pastures developed in the course of traditional farmland management in the region of Diemtigtal and they still form the landscape. Maple trees are a habitat for numerous organisms, including bryophytes and lichens: one single tree can accommodate up to 60 bryophyte and 67 lichen species.

The maple trees of Diemtigtal are standing on areas with varying management regimes. When the land is fertilized with manure or slurry, residue remains on the stems and the lichens. Several studies experimentally investigated the effect of single nutrients, bark pH, light and humidity by transplanting lichens. No study could be found that analyzes the effects of applying organic fertilizer in a field experiment. This paper examines the impact of the application of manure and slurry on seven lichen species, which have the maple tree (*Acer pseudoplatanus*) as their habitat.

The seven species *Evernia prunastri*, *Leptogium saturninum*, *Lobaria pulmonaria*, *Parmelia sulcata*, *Peltigera praetextata*, *Pertusaria albescens* and *Ramalina fraxinea* undergo the following treatments: Slurry and manure, filtered extracts of slurry (C1) and manure (C2), shadowing (S) and shadow and moisturization (SW) combined. The manure and the shadowing and moisturization materials are removed after one and a half month. Optical changes are assessed, photographed and noted down after one week, one and a half and three months. The photos are examined qualitatively and the data is analyzed statistically.

The study shows that the application of manure in particular leads to significant changes. After three months the lichens display red and brown discoloration and even some necrotic spots. Treatment with slurry, shadowing, and shadowing combined with moisturization also damaged some individuals. If the area of growth or dissemination were affected, these damages could impair the ability of the individual to disseminate or lead to its death. Since the maple tree plays an important role as a habitat for many lichen species, a conservative management is very important. The process of fertilization has to be adapted to ensure that the stems of the trees are not affected. To diminish the negative effects of fertilization on lichen on maple trees gentle management systems need to be executed and promoted.

Zusammenfassung

Bergahornweiden sind durch die traditionelle Bewirtschaftung im Diemtigtal entstanden und prägen bis heute die Kulturlandschaft. Die Bergahorne bieten Lebensraum für zahlreiche Organismen, darunter Moose und Flechten: Ein einzelner Bergahorn kann bis zu 60 Moos- und 67 Flechtenarten beherbergen.

Die Bergahorne im Diemtigtal stehen auf Flächen, die unterschiedlich bewirtschaftet werden. Bei der Düngung der Flächen mit Mist oder Gülle bleiben Rückstände an den Stämmen der Bäume und den darauf wachsenden Flechten. Verschiedene Studien untersuchten den Effekt von Einzel-nährstoffen, pH, Licht und Feuchtigkeit anhand von Experimenten mit transplantierten Flechten. Es konnte jedoch keine Studie gefunden werden, welche den Effekt untersucht, der durch das Auftragen von Hofdüngern im Feld entsteht. Im Rahmen dieser Arbeit soll deshalb in einem Feldexperiment untersucht werden, wie sich die direkte Gülle- und Mistapplikation auf sieben Flechtenarten auswirkt, welche den Bergahorn als ihren Lebensraum haben.

Die sieben Flechtenarten *Evernia prunastri*, *Leptogium saturninum*, *Lobaria pulmonaria*, *Parmelia sulcata*, *Peltigera praetextata*, *Pertusaria albescens* und *Ramalina fraxinea* werden mit den folgenden Parametern behandelt: Gülle und Mist in Reinform, Chemismus von Gülle (C1) und Mist (C2), Beschattung (S) und Befeuchtung (SW). Die Beschattung, Befeuchtung und der Mist werden nach eineinhalb Monaten entfernt. Nach einer Woche, eineinhalb Monaten und drei Monaten werden die optischen Veränderungen erhoben, protokolliert und fotografiert. Die Veränderungen werden in einem qualitativen Teil anhand der Fotos vertieft analysiert, anschliessend werden die Daten statistisch ausgewertet.

Die Untersuchung zeigt, dass insbesondere das Aufbringen von Mistpartikeln signifikante Veränderungen bewirkt. Die Flechten weisen nach drei Monaten rote und braune Verfärbungen und teilweise nekrotische Stellen auf. Aber auch die Behandlung mit Gülle, die Beschattung und Befeuchtung haben zu Farbveränderungen geführt. Ist der Wachstumsbereich der Flechte betroffen, kann dies die Verbreitung beeinträchtigen oder zum Absterben führen. Da dem Bergahorn eine besondere Rolle als Lebensraum für zahlreiche, auch bedrohte Flechtenarten zukommt, ist eine schonende Bewirtschaftung zentral. Die Prozesse der Düngerausbringung müssen so angepasst werden, dass die Stämme der Bäume nicht betroffen sind. Um die negativen Folgen der Düngerausbringung auf die Flechten an Bergahornen zu minimieren, muss eine angepasste Bewirtschaftung durchgeführt und gefördert werden.

Dank

An erster Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei meinen beiden Korrektoren, Prof. Dr. Christoph Scheidegger und Daniel Hepenstrick für die Betreuung dieser Arbeit bedanken. Ohne ihre fachlichen Inputs und ihre wertvollen Feedbacks hätte diese Arbeit nicht realisiert werden können. Dank gebührt auch Michael Ryf von der UNA Bern, der den ersten Impuls für diese Arbeit gegeben hat und Heinz Lerch vom Naturpark Diemtigtal, für seine Unterstützung vonseiten des Naturparks. Jakob Werren stellte mir grosszügig Proben seines Mistes und der Gülle zur Verfügung. Für die Hilfe beim Korrekturlesen und Layouten bedanke ich mich bei meiner Familie und meinen Freundinnen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Grundlagen.....	3
2.1	Der Bergahorn (<i>Acer pseudoplatanus</i>).....	3
2.1.1	Nutzungsformen.....	3
2.1.2	Der Bergahorn als Lebensraum.....	4
2.1.3	Bergahornweiden.....	5
2.2	Flechten.....	5
2.2.1	Ökologie.....	6
2.2.2	Verbreitung.....	7
3	Stand der Forschung.....	8
3.1	Landwirtschaft und Flechtenbiodiversität.....	8
3.2	Stickstoff und Phosphor.....	8
3.3	pH.....	9
3.4	Licht und Feuchtigkeit.....	9
3.5	In Studien verwendete Methoden.....	10
4	Forschungsfragen und Hypothesen.....	11
5	Material und Methoden.....	13
5.1	Untersuchungsgebiet.....	13
5.2	Projekt „Bergahornlandschaft“ des Naturparks Diemtigtal.....	14
5.3	Baumwahl.....	14
5.4	Artenwahl.....	17
5.5	Herkunft und Chemismus der Gülle und des Mistes.....	20
5.6	Untersuchungsdesign und Datenerhebung.....	21
5.7	Beobachtungen im Feld.....	24

5.7.1	Ausgangszustand.....	24
5.7.2	Datenerhebung I	25
5.7.3	Datenerhebung II	25
5.7.4	Datenerhebung III	25
5.8	Auswertung und Statistik	26
6	Resultate	29
6.1	Qualitative Auswertung.....	29
6.1.1	Gülle.....	29
6.1.2	Chemismus der Gülle (C1).....	31
6.1.3	Mist.....	34
6.1.4	Chemismus des Mistes (C2)	38
6.1.5	Beschattung (S)	39
6.1.6	Befeuchtung und Beschattung (SW).....	41
6.1.7	Ausschluss von <i>L. saturninum</i> und <i>P. praetextata</i> von der weiteren Analyse.....	43
6.2	Statistische Auswertung	45
7	Diskussion	52
7.1	Methodik	52
7.2	Beantwortung der Forschungsfragen und Hypothesen und Einordnung in den Stand der Forschung.....	53
8	Fazit und Bewirtschaftungsempfehlungen	58
9	Literaturverzeichnis	60

1 Einleitung

Bergahornweiden sind durch die traditionelle Bewirtschaftung im Diemtigtal entstanden und prägen bis heute die Kulturlandschaft (Kiebacher & Hofmann, o. J.). Die Bäume werden seit Jahrhunderten auf verschiedenste Arten genutzt, historisch beispielsweise in Form von Brenn- und Bauholz oder als Lieferant von Einstreu und Bettenlaub. Heute überwiegen ihr ästhetischer Wert und ihre Bedeutung als Erholungsort (Kiebacher & Hofmann, o. J.). Neben ihrem Nutzen für den Menschen sind die Bergahornweiden auch Lebensraum zahlreicher Organismen. Ihre Oberfläche wird von Moosen und Flechten genutzt: Ein einzelner Bergahorn kann bis zu 60 Moos- und 67 Flechtenarten beherbergen (Kiebacher, Keller, Scheidegger, & Bergamini, 2016).

Die Intensivierung der Landwirtschaft, aber auch die Nutzungsaufgabe und Vergandung in abgelegenen Gebieten bedrohen den Weiterbestand der Bergahornweiden (Kiebacher & Hofmann, o. J.). Sterben alte, landschaftsprägende und ökologisch wertvolle Bäume, so hinterlassen sie eine Lücke von mehreren Generationen, bis ein neu gepflanzter Baum zum würdigen Ersatz wird (Lerch, 2015). Aus diesem Grund hat der Naturpark Diemtigtal das Projekt „Bergahornlandschaft“ initiiert. Die Basis für den Schutz und die Verjüngung der Bergahornweiden bildet ein Bauminventar, welches die Bergahorne auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen festhält (Lerch, 2015). Im Rahmen der Inventarisierung wird zudem erfasst, ob auf den Bäumen seltene und geschützte Flechtenarten vorkommen. Die vorliegende Arbeit lehnt sich an das Projekt „Bergahornlandschaft“ an. Die Bergahorne stehen auf Flächen, die unterschiedlich bewirtschaftet werden. Neben Weidenutzung existieren auch Mähwiesen mit unterschiedlicher Bewirtschaftungs- und Düngungsintensität. Bei der Düngung der Flächen mit Mist oder Gülle bleiben Rückstände an den Stämmen der Bäume und den darauf wachsenden Flechten. Diese Rückstände beeinflussen die Flechten durch Nährstoffzufuhr, Beschattung und erhöhte Befeuchtung. Untersuchungen zeigen, dass die Artenvielfalt der Flechten mit zunehmender Nähe zu Landwirtschaftsflächen abnimmt (Stofer u. a., 2006). Dies kann verschiedene Ursachen haben. Es existieren zahlreiche Studien, die den Effekt von Einzelnährstoffen, pH, Licht und Feuchtigkeit anhand von Experimenten mit transplantierten Flechten untersuchen (Frati u. a., 2007; Gaio-Oliveira, Dahlman, Palmqvist, & Máguas, 2004; Johansson, 2011; Jonsson Čabradič, Moen, & Palmqvist, 2010). Es konnte jedoch keine Studie gefunden werden, welche den Effekt untersucht, der durch das Auftragen von Hofdüngern im Feld entsteht. Deshalb lauten die Forschungsfragen für diese Arbeit: Wie wirkt sich die Applikation von Mist und Gülle auf Flechten am Bergahorn aus? Welcher Parameter ist dabei zentral - Chemismus, Licht oder Feuchtigkeit? Diese sollen im Rahmen eines Feldexperimentes untersucht werden. Abgeleitet von den Ergebnissen der Literaturrecherche werden fünf Hypothesen aufgestellt:

Hypothese 1: Die Applikation des reinen Chemismus von Gülle und Mist bewirkt keine Verfärbungen oder Nekrosen der Flechten

Hypothese 2: Die Applikation von Gülle bewirkt keine Verfärbungen oder Nekrosen der Flechten

Hypothese 3: Beschattung bewirkt Verfärbungen oder Nekrosen der Flechten

Hypothese 4: Erhöhte Feuchtigkeit in Kombination mit Beschattung bewirkt Verfärbungen oder Nekrosen der Flechten

Hypothese 5: Die Applikation von Mist bewirkt Verfärbungen oder Nekrosen der Flechten

Die Ergebnisse werden qualitativ und quantitativ ausgewertet. Die Resultate sollen eine Grundlage für eine Bewirtschaftungsempfehlung an Landwirte und Landwirtinnen darstellen, auf deren Land Einzelbäume mit interessanten Flechtenarten stehen.

2 Grundlagen

Um die Bedeutung des Bergahorns als Lebensraum und die Entstehung der Bergahornweiden als Kulturgut besser zu verstehen, werden in den folgenden Kapiteln die relevanten Grundlagen erarbeitet. Anschliessend folgt eine Einführung in die Ökologie und Verbreitung der Flechten.

2.1 Der Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*)

Der Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*) gehört zur Familie der Seifenbaumgewächse (*Sapindaceae*). Gemeinsames Merkmal dieser Familie ist der ausgeprägte Diskus: eine scheiben- oder ringförmige Wulst des Blütenbodens, welche Nektar bildet (LWF, 2009). Neben dem Bergahorn sind vier weitere *Acer*-Arten in der Schweiz heimisch, von denen *Acer pseudoplatanus* die häufigste Art ist (Kiebacher & Hofmann, o. J.). Der Bergahorn ist der dritthäufigste Schweizer Laubbaum neben Buche und Esche. Sein Verbreitungsgebiet konzentriert sich auf kühlfeuchte Klimaregionen. Anzutreffen ist der Bergahorn in mittel bis hoch gelegenen Gebirgen Süd- bis Mitteleuropas (Häne, 2009). In der Schweiz findet man ihn vor allem in den höheren Lagen des Juras, dem östlichen Mittelland und den Nordalpen. Für sein Wachstum ideal sind frisch-feuchte, feinerdereiche bis steinige Böden mit genügend Nährstoffen. Der Bergahorn mag weder ausgeprägte Trockenheit, noch gestaute oder Wechselfeuchtigkeit. Mit zunehmendem Alter wird der Baum lichtbedürftiger (LWF, 2009).

Der Bergahorn kann bis zu 600 Jahre alt werden (Kiebacher & Hofmann, o. J.). Alte Einzelbäume beeindrucken durch ihre wohlgeformten, eiförmigen bis runden Kronen (Häne, 2009; LWF, 2009). Diese werden bis zu 40m hoch und erreichen Stammdurchmesser von 2m (Kiebacher & Hofmann, o. J.). Die Bäume beginnen erst im Alter von 20-30 Jahren zu blühen. Die Blätter des Bergahorns sind handförmig gelappt. Auf der Oberseite sind sie dunkelgrün gefärbt, unten graugrün und matt. Die Rinde ist anfänglich glatt und graubraun, später beginnt sie zu schuppen. Dadurch bekommt der Stamm sein typisches braun-, grau- und rotschuppiges Aussehen. Die Blüten sind meist eingeschlechtig und monözisch. Die männlichen und weiblichen Blüten sind zu unterschiedlichen Zeitpunkten fruchtbar um Selbstbestäubung zu vermeiden (LWF, 2009). Sie werden von Insekten bestäubt, die den Nektar sammeln (Kiebacher & Hofmann, o. J.). Von September bis Oktober werden die geflügelten Spaltfrüchte reif (LWF, 2009).

2.1.1 Nutzungsformen

Das Holz des Bergahorns besitzt eine helle Farbe und ist mittelschwer (LWF, 2009). Es ist eines der wertvollsten Edellaubhölzer und wird auf unterschiedliche Weise verwendet (Häne, 2009). Zum einen als Brennholz, aber auch für die Herstellung von Instrumenten, im Innenausbau oder in der

Möbelherstellung (Häne, 2009; Kiebacher & Hofmann, o. J.; Machatschek, 2002). Im Instrumentenbau wie auch in der Möbelherstellung sind Riegel- und Maserwuchs beliebte Wuchsformen, die zu dekorativen Zwecken eingesetzt werden (LWF, 2009). Gedrechselt, geschnitzt und behauen werden aus Bergahornholz auch Kunstwerke und Gebrauchsgegenstände gefertigt (Kiebacher & Hofmann, o. J.).

Neben der Verwendung des Holzes wurde historisch auch das Laub des Bergahornes verwendet. Es wurde in Matratzen und Schlafsäcken als Bettenlaub eingesetzt und im Stall als Einstreu genutzt. Als Stroh in den 1960ern vermehrt erhältlich war, nahm die Bedeutung des Laubes ab (Kiebacher & Hofmann, o. J.; Machatschek, 2002). Das Laub wurde zudem als Futtermittel für Tiere und als Dünger auf Feldern eingesetzt. Auch als Nahrungsmittel diente der Bergahorn. Die jungen Früchte wurden beispielsweise als Salat verzehrt, und aus dem Saft des Ahorns wurde Sirup gewonnen (Machatschek, 2002). In der Heilkunde wurde der Ahorn als kühlend betrachtet und gegen Fieber eingesetzt (Küchli, 1987). Zudem wurden ihm Abwehrkräfte nachgesagt. Unter dem Ahorn wurden früher gerne wichtige Anlässe durchgeführt, wie beispielsweise der Schwur des „Grauen Bundes“ in Trun (Häne, 2009). Heute werden Bergahorne vor allem als Kraftort und für ihre Ästhetik geschätzt (Kiebacher & Hofmann, o. J.).

2.1.2 Der Bergahorn als Lebensraum

Von den Blättern, Trieben, Knospen, Samen und dem Saft des Bergahorns ernähren sich circa 30 Säugetierarten. Rund 20 Vogelarten nutzen die Früchte des Bergahorns als Nahrungsquelle. Zusammen mit Mäusen beschädigen sie bisweilen auch die Rinde des Baumes, um den Saft zu gewinnen. Neben den Wirbeltieren befinden sich auch zahlreiche Gliederfüsser auf dem Bergahorn (Kiebacher & Hofmann, o. J.; LWF, 2009). Die Bedeutung des Ahorns für zahlreiche Arten lässt sich auch in ihren Namen erkennen, wie beispielsweise bei der „Ahorn-Eule“ (Häne, 2009).

Nicht nur für die Fauna, auch für die Flora spielt der Bergahorn eine wichtige Rolle. Kiebacher, Scheidegger und Bergamini (2017) weisen nach, dass Einzelbäume auf Weideflächen einen positiven Einfluss auf die Artenvielfalt von Gefässpflanzen und bodenbewohnenden Moosen in ihrer Umgebung ausüben. Sie identifizieren die Bergahorne als Schlüsselement für die Förderung der Vielfalt der Bodenvegetation.

Für diese Arbeit besonders relevant ist die Bedeutung des Bergahorns für Moose und Flechten. Nur wenige Laubbäume zeigen einen derart starken Epiphytenbewuchs wie der Bergahorn (LWF, 2009). Moose und Flechten besiedeln die Oberfläche der Bäume. Die Oberflächenbeschaffenheit ist wichtig für die Besiedlung durch Epiphyten. Die Oberfläche verändert sich mit zunehmendem Alter der Bäume, da die Borke des Bergahornes zunehmend schuppiger wird (LWF, 2009). Die dadurch entstehenden Kleinstandorte werden von unterschiedlichen Arten genutzt. So erhöht sich

die Artenvielfalt (Kiebacher, Bergamini, Scheidegger, & Bürgi, 2018). Auch der Chemismus ist ein zentraler Faktor, denn Nährstoffe und der Rinden-pH beeinflussen, welche Arten sich ansiedeln. So gelten beispielsweise Nadelbäume als sauer, während der Bergahorn als Laubbaum eine weniger saure Rinde aufweist (LWF, 2009). Der Standort spielt ebenfalls eine wichtige Rolle für die Artenzusammensetzung. Solitäräume, wie sie am Strassenrand vorkommen, sind Abgasen, Witterung und Sonneneinstrahlung ausgesetzt. Sie werden demzufolge von anderen Arten bevorzugt als Bergahorne in Wäldern, in denen eher feuchte und schattige Bedingungen vorherrschen (LWF, 2009). Der wichtigste Faktor für die Vielfalt von Moosen und Flechten auf Bergahornen ist jedoch laut Kiebacher u. a. (2018) das Alter der Bäume. Alte Bäume weisen einen hohen Artenreichtum und viele Rote Liste-Arten auf (Vanderpoorten, Engels, & Sotiaux, 2004). Dies liegt unter anderem daran, dass die Arten lange Zeit hatten, den Baum zu besiedeln. Zudem weisen alte Bäume wie zuvor erwähnt einen hohen Strukturreichtum und vielfältige Mikroklimata auf (Kiebacher u. a., 2018).

2.1.3 Bergahornweiden

Der Bergahorn dominiert natürlicherweise nur auf kühlen, feuchten Standorten, an denen andere Arten nicht mehr konkurrenzfähig sind. Ansonsten wächst er als Begleitbaum in diversen Waldgesellschaften (Kiebacher u. a., 2018). Das Vorkommen von Bergahornweiden hingegen ist dem Menschen geschuldet. Wie in Kapitel 2.1.1 beschrieben, kam dem Bergahorn als Schatten-spender, Holz- oder Laublieferant eine grosse Bedeutung zu. Deshalb wurden die Bäume bei der Beweidung des Grünlands stehen gelassen. So entstanden parkähnliche Weideflächen, die locker mit Bergahornen bestockt sind (Gosteli, 2016). Bergahornweiden sind vor allem in den Nordalpen anzutreffen, aber auch dort nur sehr punktuell (Kiebacher u. a., 2018).

Kiebacher u. a. (2016) untersuchen die Artenvielfalt von Moosen und Flechten auf Bergahornweiden in den Nordalpen und finden bis zu 67 Flechten- und 60 Moosarten pro Baum. Die Studie zeigt ausserdem die Bedeutung der Baumkrone für die Artenvielfalt. 29% der Moose und 61% der Flechten werden ausschliesslich in der Krone gefunden. Bergahorne der Bergahornweiden weisen eine grössere Biodiversität auf als andere Bäume in Europa (Kiebacher u. a., 2018). Dies führen Kiebacher u. a. (2018) auf die niedrige Schadstoffbelastung im Alpenraum, die hohe Luftfeuchtigkeit und die besseren Lichtverhältnisse auf den freistehenden Bäumen zurück. Es handelt sich um einen einzigartigen Lebensraum, dessen Schutzwürdigkeit erst seit kurzem realisiert wird (Kiebacher u. a., 2018).

2.2 Flechten

Als Flechten bezeichnet man die Symbiose eines Pilzes mit einer Alge und/oder einem Cyanobakterium (Honegger, 1993; Wirth, Hauck, & Schultz, 2013). Den grössten Teil des Körpers der Flech-

te machen die Hyphen des Mykobionten aus, der Photobiont bestreitet nur einen kleinen Anteil. Der Pilz erhält Kohlenhydrate vom Photobionten, welche dieser durch Photosynthese produziert. Im Gegenzug gibt der Pilz dem Photobionten Wasser und Nährstoffe, umhüllt ihn und schützt ihn so vor Wasserverlust, Sonne und Frass durch Tiere (Honegger, 1998; Wirth u. a., 2013). Circa 1'500 Arten sind verbunden mit Cyanobakterien, vor allem Arten der Gattung *Nostoc*, welche atmosphärischen Stickstoff fixieren können (Rai, Bergman, & Rasmussen, 2002).

Der Vegetationskörper der Flechte wird Thallus genannt. Es existieren verschiedene Wuchsformen, welche in Krustenflechten, Strauchflechten, Blatt- oder Laubflechten und Gallertflechten eingeteilt werden. Krustenflechten weisen eine krustige Oberfläche auf, während Blattflechten flache, lappenförmige Thalli besitzen. Strauchflechten sind bartartig oder strauchförmig. Gallertflechten haben Cyanobakterien als Partner und werden durch Feuchtigkeit gallertig (Wirth u. a., 2013).

2.2.1 Ökologie

Weltweit existieren circa 25'000 Flechtenarten, welche beinahe alle Habitate der Erde bevölkern (Nash, 2008; Wirth u. a., 2013). Da Flechten weniger schnell wachsen als Blütenpflanzen, sind sie vermehrt an Standorten anzutreffen, an denen Blütenpflanzen wenig konkurrenzfähig sind. Dies ist beispielsweise auf Steinen, an Baumrinden und auf Dächern der Fall. Viele Arten benötigen spezifische Standortbedingungen, so bevorzugen einige epiphytische Arten bestimmte Baumarten aufgrund des pHs und Nährstoffgehaltes der Rinde. Wie zuvor erwähnt, spielt die Oberfläche der Borke eine wichtige Rolle für die Besiedlung durch Flechten (Wirth u. a., 2013). Auch Licht und Feuchtigkeit beeinflussen die Artenzusammensetzung an einem Standort, man spricht von „Licht-“ und „Schattenarten“. Gewisse Arten bevorzugen kühl-feuchte Bedingungen, während andere trockene, besonnte Bäume oder Steine vorziehen (Wirth u. a., 2013).

Flechten verfügen über keine echten Wurzeln. Sie sind poikilohydrisch, das heisst, dass ihr Wassergehalt von der atmosphärischen Feuchtigkeit bestimmt wird. In trockenem Zustand ist ihr Stoffwechsel inaktiv (Palmqvist, Dahlman, Jonsson, & Nash, 2008; Wirth u. a., 2013). Wenn Flechten feucht sind und ihr Stoffwechsel aktiv ist, wird die Photosynthese primär vom verfügbaren Licht limitiert (Palmqvist u. a., 2008). Ihr Wachstum ist von denselben Nährstoffen abhängig wie das von Pflanzen (Stickstoff, Phosphor, Kalzium, Kalium, Magnesium etc.). Durch das Fehlen von Wurzeln sind Flechten abhängig von der Deposition von Nährstoffen direkt auf ihren Thallus. Quellen können atmosphärisch sein oder vom Abbau von Borke oder Blättern herrühren (Nadkarni & Matelson, 1991).

Durch die Wechselfeuchtigkeit, die fehlenden Wurzeln und die Symbiose wachsen Flechten sehr langsam, da die Alge mit dem assimilierten Kohlenstoff zuerst den Pilz ernähren muss. Grosse

Flechtenthalli können deshalb ein hohes Alter aufweisen. Bei genügend Feuchtigkeit sind Flechten das ganze Jahr über stoffwechselaktiv. Sie sind vor allem in Gebirgen und niederschlagsreichen Gebieten zahlen- und artenmässig gut vertreten. Auch bei Minustemperaturen betreiben Flechten Photosynthese und wachsen (Wirth u. a., 2013).

2.2.2 Verbreitung

Generell gilt: Je ökologisch vielfältiger ein Standort ist, desto abwechslungsreicher ist die Flechtengesellschaft. Jede Art hat ein bestimmtes geographisches Areal, welches sie aufgrund ihrer Ökologie bevorzugt. Dieser Raum ist ständigen Veränderungen unterworfen, z.B. durch das Ende der Eiszeit oder den Wandel der Waldartenzusammensetzung. Heute sind jedoch viele Arten durch Lebensraumzerstörung und -veränderung durch den Menschen selten geworden. Gründe dafür sind unter anderem die Intensivierung der Land- und Forstwirtschaft, das Abholzen von Allee-bäumen, der Mangel an Alt- und Totholz in den Wäldern und die Luftverunreinigung durch die Industrie (Wirth u. a., 2013).

Kiebacher, Bergamini, Scheidegger und Bürgi (2018) stellen fest, dass auch auf Bergahornweiden die Düngungsintensität zugenommen hat. Sie schreiben dies der fortschreitenden Mechanisierung und dem besseren Zugang durch den Bau von Strassen zu. Techniken der Mist- und Gülleausbringung, wie Mistzetter und Prallteller erreichen fast jede Stelle des Landes. Ausserdem werden über die Fütterung des Viehs mit Kraftfutter zusätzliche Nährstoffe eingetragen. Die Auswirkungen dieser Intensivierung sind wichtig, da dem Bergahorn eine besondere Rolle für die Vielfalt von Moosen und Flechten zukommt. Laut Kiebacher u. a. (2018) weisen die Bäume der Bergahornweiden eine weit höhere Biodiversität auf als andere Arten in Europa, wie beispielsweise Buche oder Fichte. Im folgenden Kapitel soll erarbeitet werden, welche Erkenntnisse über die Auswirkung der landwirtschaftlichen Nutzung auf Flechten bestehen und welche Faktoren dabei entscheidend sind.

3 Stand der Forschung

Um diese Arbeit in den Kontext bisheriger Studien einzuordnen und die Ergebnisse im Bezug auf bisherige Erkenntnisse diskutieren zu können, wird in den folgenden Kapiteln der Stand der Forschung aufgearbeitet. Dazu wird zuerst ermittelt, was über den Einfluss der landwirtschaftlichen Nutzung auf die Artenvielfalt der Flechten bereits bekannt ist. Anschliessend werden Studien aufgeführt, welche die Auswirkung einzelner Parameter auf Flechten aufzeigen, welche für diese Arbeit relevant sind. Mist und Gülle wirken einerseits durch die in ihnen enthaltenen Nährstoffe wie Stickstoff und Phosphor. Sie können aber auch einen Einfluss auf den pH des Stammes haben. Mistpartikel können zudem verhindern, dass Licht die Flechten erreicht und wie ein Schwamm die Feuchtigkeit erhöhen.

3.1 Landwirtschaft und Flechtenbiodiversität

Viele Studien untersuchen einzelne Indikatorarten, welche den Grad der Luftverschmutzung oder Eutrophierung angeben (van Herk, 1999, 2002). Nur wenige analysieren jedoch die Veränderung der Artenvielfalt und -zusammensetzung von Flechtengesellschaften. Stofer u. a. (2006) untersuchen Veränderungen von funktionellen Gruppen von Flechten entlang von Landnutzungsgradienten. Sie stellen fest, dass die relative Artenvielfalt entlang des Gradienten von Wald zu offenem Landwirtschaftsland abnimmt. Sie prognostizieren zudem einen merklichen Rückgang der Diversität seltener Flechtenarten resultierend aus der zunehmenden Intensivierung der Landnutzung. Auch Pinho u. a. (2008) und Wolseley u. a. (2006) stellen fest, dass oligotrophe Arten mit zunehmender Nähe zu Landwirtschaftsflächen abnehmen, während die Anzahl Nitrophyten zunimmt.

Eine weitere Studie von Pinho u. a. (2012) zeigt, dass auf Flächen mit wenig intensiver Bewirtschaftung eine Intensivierung zu höherer Artenvielfalt führt. Dies kommt daher, dass eutrophierungstolerante Arten zunehmen, während sich bei den sensiblen Arten noch kein Rückgang bemerkbar macht. Den Autoren zufolge deckt sich dies mit der Hypothese der mittleren Störungintensität, die behauptet, dass bei mittlerer Störung Arten mit entgegengesetzten Bedürfnissen koexistieren.

3.2 Stickstoff und Phosphor

Flechten werden oft als Indikatoren für die Luftqualität herangezogen. Lange stand die Auswirkung von SO₂ auf Flechten im Fokus der Wissenschaft. Da in den letzten zwei Jahrzehnten die Schwefeldioxidemissionen stark reduziert werden konnten, rücken andere Faktoren ins Zentrum der Forschungstätigkeit, darunter Stickstoff (Van Dobben & Ter Braak, 1998). In den letzten 150 Jahren

hat die Stickstoffdeposition global zugenommen und wird voraussichtlich weiter ansteigen (Johansson, 2011). Die Landwirtschaft ist dabei der wichtigste Emittent. Stickstoff ist ein wichtiger Nährstoff für Flechten, kann aber auch zum Stressfaktor werden (Johansson, 2011).

Zahlreiche Studien untersuchen den Effekt von Stickstoffdüngung auf Flechten. Welch, Gillman & John (2006) zeigen, dass durch die Zugabe von Stickstoff das Wachstum von Flechten anfänglich angeregt werden kann, auch bei N-sensiblen Arten. Die unterschiedliche Reaktion verschiedener Arten könnte laut den Autoren auf die unterschiedliche Fähigkeit zurückzuführen sein, das Wachstum zwischen Photobiont und Mykobiont zu koordinieren. Munzi, Piani & Loppi (2009) zeigen, dass eine erhöhte Stickstoffaufnahme, ohne die Möglichkeit dieses für Wachstum zu verwenden, toxische Auswirkungen wie Membranschädigung hat, während diese bei Gaio-Oliveira, Dahlman, Palmqvist & Mguas (2004) zu Chlorophylldegradation führt. Verschiedentlich wird zudem festgestellt, dass die Zugabe von Stickstoff zum Wachstum freilebender Algen führen kann und so die Symbiose gefährdet (Brown & Tomlinson, 1993; Kauppi, 1980; Scott, 1960). Laut Welch u. a. (2006) kann die erhöhte Nährstoffverfügbarkeit aufgrund des gesteigerten Wachstums zu erhöhter Konkurrenz um Platz und Energie führen.

Johansson (2011) zeigt, dass eine erhöhte Stickstoffkonzentration im Thallus zu einer erhöhten Chlorophyll *a* Konzentration führt. Dies weist auf eine zunehmende Menge des Photobionten im Thallus hin. Diese kann nur solange zunehmen, bis andere Faktoren limitierend werden, wie Wasser, Licht oder weitere Nährstoffe. Johansson (2011) identifiziert Phosphor als wachstumslimitierenden Nährstoff, der die Verwendung von Stickstoff beeinflusst. In ihrer Studie zeigt sie, dass der Photobiont N-limitiert ist, während der Einfluss der Nährstoffe auf das Wachstum des Mykobionten komplexer ist. Sie führt dies darauf zurück, dass das Wachstum des Pilzes zusätzlich von Kohlenstoff abhängt, der von der Alge geliefert werden muss.

3.3 pH

Verschiedene Autoren weisen darauf hin, dass die negativen Effekte, welche durch hohe Mengen Stickstoff an Flechten entstehen, nicht unbedingt durch einen Nährstoffüberschuss, sondern vor allem durch die Veränderung des pH-Wertes des Stammes zustande kommen (Frati u. a., 2007; Van Herk, 2001). Frati (2007) stellt fest, dass die Zunahme nitrophiler Flechtenarten dem gestiegenen Rinden-pH zuzuschreiben ist.

3.4 Licht und Feuchtigkeit

Čabradič, Moen & Palmqvist (2010) stellen fest, dass die Parameter Einstrahlung und Niederschlag zentral für die Prognose des Wachstums von Flechten sind. Denn Flechten sind nur metabolisch aktiv, wenn sie feucht sind (Johansson, 2011). Wenn genügend Feuchtigkeit vorhanden und der

Stoffwechsel aktiv ist, so wird die Photosynthese primär vom verfügbaren Licht beschränkt (Palmqvist & Sundberg, 2000).

3.5 In Studien verwendete Methoden

Die meisten Studien untersuchen die Auswirkung von Stickstoff in verschiedenen Formen wie Ammonium, Nitrat, Aminosäuren, etc. (Gaio-Oliveira u. a., 2004; Hauck, 2010; Welch u. a., 2006). Johansson (2011) untersucht den Zusammenhang zwischen N- und P-Aufnahme. Die Untersuchungen werden meist in Form von Feldexperimenten durchgeführt, bei denen Flechten transplantiert und mit unterschiedlichen Lösungen behandelt werden. Nur zwei Studien konnten gefunden werden, bei denen die Flechten in unterschiedlichem Abstand von landwirtschaftlichen Betrieben angebracht werden und der Effekt der Emissionen gemessen wird (Frati u. a., 2007; Paoli u. a., 2010). Feldexperimente, bei denen die Flechten an ihrem natürlichen Standort belassen werden und in denen die Einflüsse von mehreren Nährstoffen sowie Feuchtigkeit und Licht gemeinsam betrachtet werden, konnten keine gefunden werden.

Die Literaturrecherche zeigt, dass der Grad der landwirtschaftlichen Nutzung die Flechtenvielfalt beeinflusst. Möglicherweise nimmt die Diversität anfänglich zu und wird mit zunehmender Intensivierung artenärmer. Arten, welche auf nährstoffarme Bedingungen angewiesen sind, verschwinden, während Nitrophyten profitieren. Bisher sind jedoch nur einzelne Parameter untersucht worden, welche diesen Effekt erklären könnten. Gewissen Arten fehlt die Fähigkeit, das Wachstum zwischen Alge und Pilz zu koordinieren. Deshalb führt zu viel Stickstoff zu Membranschädigungen oder dem Aufkündigen der Symbiose. Andere Studien identifizieren Phosphor als wachstumslimierenden Faktor. Wieder andere Autoren führen die Zunahme nitrophiler Arten auf die Beeinflussung des pH-Wertes des Stammes durch Stickstoff zurück. Bei der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung kommt es durch die Ausbringung von Hofdünger wie Mist und Gülle zu einer Kombination all dieser Faktoren. Wie sich diese auf Flechten auswirkt, wurde bisher noch nicht untersucht.

4 Forschungsfragen und Hypothesen

Wie im Kapitel 3 aufgezeigt, konnte die für diese Arbeit durchgeführte Literatursuche keine Studie finden, welche den direkten Einfluss von Gülle und Mist auf Flechten untersucht. Die praktische Relevanz einer solchen Untersuchung zeigt jedoch eine Erstbegehung im Feld, bei der festgestellt wird, dass beim Düngen der Wiesen und Weiden die Flechten auf den Stämmen der Bergahorne mit Mistpartikeln bedeckt werden (Abbildung 1).



Abbildung 1: Bei der Erstbegehung aufgefundener Mistpartikel am Stamm eines Bergahornes

Der Mist setzt sich einerseits aus verschiedenen Nährstoffen zusammen, deren Chemismus die darunterliegenden Flechten beeinflussen kann. Andererseits verhindern die Partikel, dass Licht auf die Thallusoberfläche gelangt. Zudem kann das Material als Schwamm wirken und so die Feuchtigkeit erhöhen. Die Landwirtschaftsfläche wird auch mit Gülle gedüngt. Deren Rückstände sind zwar weniger sichtbar, dennoch können sie Auswirkungen auf die Flechten haben. Aus diesem Grund werden folgende Forschungsfragen formuliert:

Forschungsfrage 1: Wie wirkt sich die Applikation von Mist und Gülle auf Flechten am Bergahorn aus?

Forschungsfrage 2: Welcher Parameter ist dabei zentral – Chemismus, Licht oder Feuchtigkeit?

Ausgehend von der übergeordneten Forschungsfrage werden fünf Hypothesen aufgestellt. Abgeleitet von der Literaturrecherche wird davon ausgegangen, dass die Applikation von flüssigen Nährstoffen keinen negativen Einfluss auf die Flechten hat. Flechten sind darauf angewiesen, dass Nährstoffe von aussen zu ihnen kommen, da sie keine Wurzel besitzen. Es wird jedoch angenommen, dass ein positiver Effekt im Rahmen dieser Arbeit nicht sichtbar wäre, da der Zeitraum der Untersuchung zu kurz ist, um Veränderungen im Wachstum festzustellen. Deshalb lauten die ersten zwei Hypothesen:

Hypothese 1: Die Applikation des reinen Chemismus von Gülle (C1) und Mist (C2) bewirkt keine Verfärbungen oder Nekrosen der Flechten

Hypothese 2: Die Applikation von Gülle bewirkt keine Verfärbungen oder Nekrosen der Flechten

Hingegen wird vermutet, dass sowohl bei der Anbringung von Mist als auch bei der Beschattung und der Kombination von Beschattung und Befeuchtung das für die Photosynthese benötigte Licht fehlt. Dies behindert den Stoffwechsel der Flechten. Es wird davon ausgegangen, dass sich negative Einflüsse viel schneller optisch bemerkbar machen als solche, die das Wachstum positiv beeinflussen. Dies resultiert in folgenden Hypothesen:

Hypothese 3: Beschattung (S) bewirkt Verfärbungen oder Nekrosen der Flechten

Hypothese 4: Erhöhte Feuchtigkeit in Kombination mit Beschattung (SW) bewirkt Verfärbungen oder Nekrosen der Flechten

Hypothese 5: Die Applikation von Mist bewirkt Verfärbungen oder Nekrosen der Flechten

Im nachfolgenden Kapitel wird erläutert, wie die aufgestellten Hypothesen in einem Feldexperiment überprüft werden sollen. Dazu gehört die Beschreibung des Gebietes, der eingesetzten Materialien sowie des Vorgehens vor Ort.

5 Material und Methoden

Der Entscheid, ein Feldexperiment durchzuführen, kommt einerseits daher, dass bisherige Studien alle mit transplantierten Flechten gearbeitet haben. Dadurch, dass die Flechten an ihrem ursprünglichen Standort belassen werden, erhöht sich die Realitätsnähe der Resultate. Andererseits ist der Aufwand für eine Transplantation oder eine Untersuchung im Labor zu hoch. Allerdings lassen sich in einem Feldexperiment Störfaktoren schlecht kontrollieren. Das bedeutet, dass die externe Validität hoch ist, während die interne Validität im Vergleich zu einem Laborexperiment geringer ausfällt.

Im Folgenden soll erläutert werden, in welchem Gebiet das Feldexperiment durchgeführt wird und an welches Projekt es sich anlehnt. Anschliessend wird die Wahl der Bäume und Flechtenarten erklärt. Es folgt eine Charakterisierung der verwendeten Materialien. Zum Schluss wird das Vorgehen bei der Datenerhebung und -auswertung aufgezeigt.

5.1 Untersuchungsgebiet

Das Diemtigtal ist geprägt von grossen Höhendifferenzen auf kleinem Raum. Die Landschaft ist ein Mosaik aus Weideflächen, Mähwiesen und Wald, welches durch die landwirtschaftliche Nutzung zustande kommt. Beinahe 40% der Arbeitnehmenden im Diemtigtal arbeiten in der Landwirtschaft und fast 50% der Flächen werden landwirtschaftlich genutzt. Davon stellen die Alpweiden den grössten Anteil. Durch die zerstreuten Siedlungen wird Landwirtschaft über grosse Flächen verteilt betrieben. Dies sorgt dafür, dass die mosaikartige Landschaft mit artenreichen Grenzbereichen erhalten bleibt (Projektgruppe LQB & Regionaler Naturpark Diemtigtal, 2015). Ein besonderes Erbe der traditionellen landwirtschaftlichen Bewirtschaftung sind die Bergahornweiden. Sie prägen bis heute die Kulturlandschaft des Diemtigtals (Kiebacher & Hofmann, o. J.). Die Intensivierung der Landwirtschaft, aber auch die Nutzungsaufgabe und Vergandung in abgelegenen Gebieten bedrohen den Weiterbestand der Bergahornweiden (Gosteli, 2016; Kiebacher & Hofmann, o. J.). Interessant am Untersuchungsgebiet ist die gemeinsame Existenz von Bergahornen auf sehr intensiv bewirtschafteten, flachen Tallagen und solchen auf extensiv beweideten Hanglagen (Kiebacher u. a., 2018).

Die untersuchten Flechten befinden sich auf Bergahornen im Gebiet Meniggrund auf circa 1'350 m.ü.M. Das untersuchte Gebiet befindet sich auf Moränenmaterial aus dem Quartär (swisstopo, o. J.). Klimatisch gehört das Gebiet zur Region westlicher Alpennordhang mit einem durchschnittlichen Niederschlag von 1'338 mm/Jahr und einer durchschnittlichen Temperatur von 5.7°C (MeteoSchweiz, 2016).

5.2 Projekt „Bergahornlandschaft“ des Naturparks Diemtigtal

Wie bereits erwähnt, ist der Lebensraum Bergahornweide bedroht. Einerseits wird die Bewirtschaftung entlegener oder ertragsarmer Flächen aufgegeben. Andererseits werden durch die landwirtschaftlichen Intensivierung Bäume gefällt und abgestorbene Individuen nicht mehr ersetzt.. (Gosteli, 2016; Kiebacher u. a., 2018; Kiebacher & Hofmann, o. J.). Diese alten Bäume sind ökologisch besonders wertvoll und es dauert lange, bis ein junger Baum dieselben Funktionen übernehmen kann. (Lerch, 2015). Deshalb wurde im Naturpark Diemtigtal das Projekt „Bergahornlandschaft“ lanciert. Abgestützt auf ein Inventar, welches die Bergahorne auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen festhält, sollen Bäuerinnen und Bauern dazu animiert werden, frühzeitig neue Ahornbäume zu pflanzen, um einen würdigen Ersatz für alternde Bäume bieten zu können. (Lerch, 2015). Mit der Inventarisierung wird zudem erfasst, ob auf den Bäumen seltene und geschützte Flechtenarten vorkommen. Die vorliegende Arbeit knüpft an das Projekt „Bergahornlandschaft“ an. Die Flächen, auf denen die inventarisierten Bergahorne stehen, werden teils beweidet, teils aber auch gemäht und in unterschiedlicher Intensität bewirtschaftet und gedüngt. Bei der Erstbegehung der Flächen wird festgestellt, dass bei der Düngung der Flächen Rückstände, insbesondere Mistklumpen, an den Stämmen der Bäume und den darauf wachsenden Flechten verbleiben. Beim Lösen der Partikel zeigen sich die darunterliegenden Flechten verbräunt und nekrotisch.

5.3 Baumwahl

Am Nord- und am Südhang des Tales werden gut zugängliche Einzelbäume der Art *Acer pseudoplatanus* auf landwirtschaftlich genutzten Flächen identifiziert, auf welchen mindestens eine der gewählten Flechten (siehe Kapitel 5.4) anzutreffen ist. Die Flechten müssen sich im gut zugänglichen Stammbereich des Baumes befinden, also vom Boden bis auf etwa 180cm Höhe. Es werden Bäume selektiert, auf denen möglichst viele der ausgewählten Arten gleichzeitig vorkommen. Ferner wird darauf geachtet, dass es sich um Weideflächen handelt, welche nicht gedüngt werden. Dies kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, wird jedoch aufgrund der Steilheit und mangelnder Mistpartikel an den Bäumen angenommen.

Die Bäume befinden sich auf den Flächen 30, 32, 33 und 35 (Abbildung 2-5). Für die Kartierung des Naturparks Diemtigtal werden alle Bäume nummeriert. Für diese Arbeit wird der Einfachheit halber mit einer tieferen Nummerierung gearbeitet (rote Nummern).

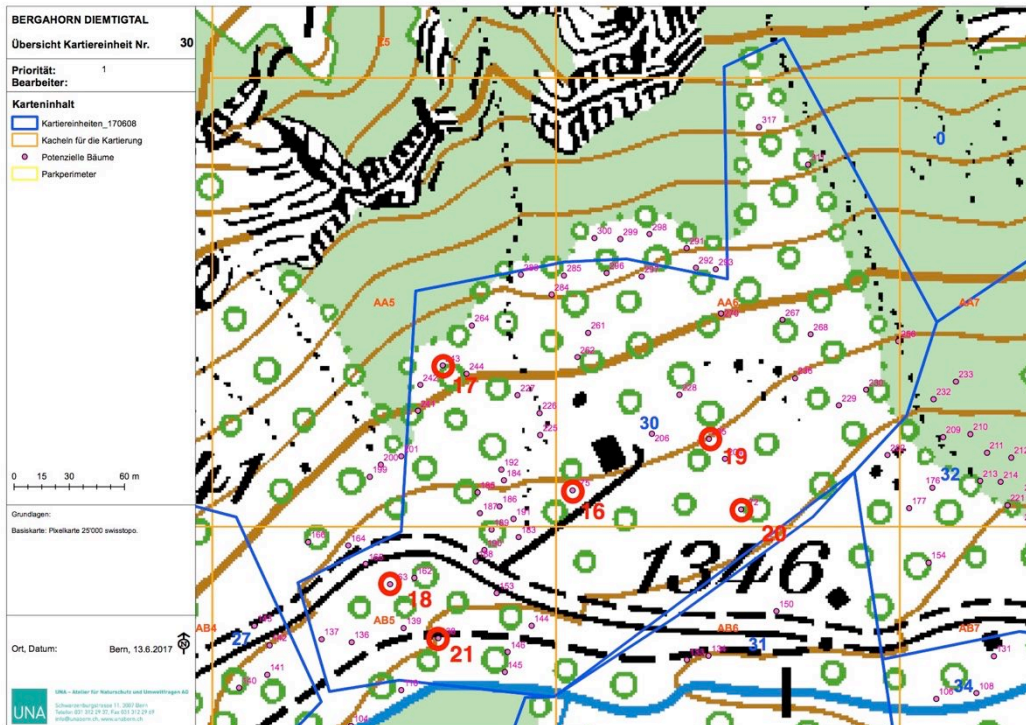


Abbildung 2: Bäume auf Kartiereinheit 30 (Quelle: UNA, swisstopo)

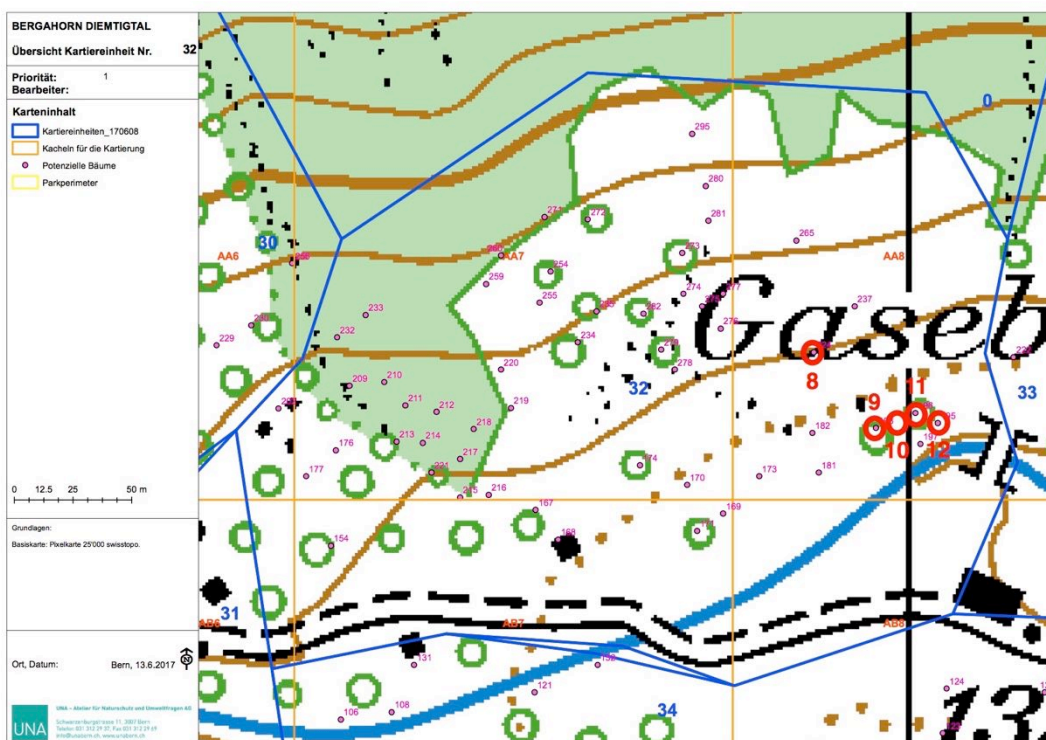


Abbildung 3: Bäume auf Kartiereinheit 32 (Quelle: UNA, swisstopo)

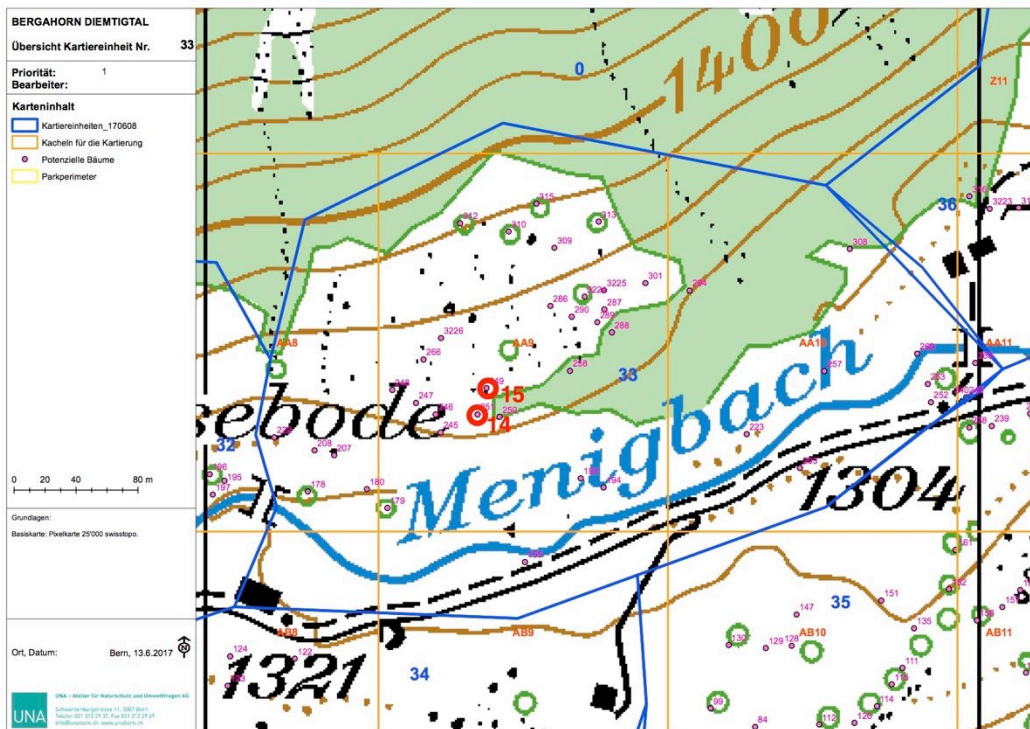


Abbildung 4: Bäume auf Kartiereinheit 33 (Quelle: UNA, swisstopo)



Abbildung 5: Bäume auf Kartiereinheit 35 (Quelle: UNA, swisstopo)

5.4 Artenwahl

Bei der Auswahl ist entscheidend, dass die Arten im Untersuchungsgebiet vorkommen. Zudem werden die Arten so gewählt, dass alle Wuchsformen vertreten sind. Es wird darauf geachtet, dass unterschiedliche ökologische Ansprüche und Gefährdungsklassen vertreten sind. Behandelt werden sieben Flechtenarten – eine Gallertflechte, drei Blattflechten, eine Krusten- und zwei Strauchflechten.

Evernia prunastri: Das Eichenmoos ist eine Strauchflechte von gelbgrünlicher Farbe, deren Thallus auf der Unterseite weisse Abschnitte aufweist. Sie ist an Ästen von Nadel- und Laubbäumen und auf den Stämmen von Bäumen mit saurer Rinde anzutreffen. Ihre ökologischen Ansprüche sind relativ gering, die Art meidet einzig lufttrockene und -belastete Gebiete. Ausserhalb von arktischen und alpinen Gegenden ist sie geografisch in ganz Europa verbreitet (Wirth u. a., 2013). Sie gilt als nicht gefährdet (LC) (Scheidegger, 2002).



Abbildung 6: *Evernia prunastri*

Leptogium saturninum: Bei dieser Art handelt es sich um eine Gallertflechte mit Blaualgen-symbionten (*Nostoc sp.*). Trocken ist ihre Färbung blaugrau, braun oder schwärzlich, im feuchten Zustand dunkeloliv-schwarz. Um metabolisch aktiv zu sein, ist die Art auf flüssiges Wasser angewiesen, weshalb sie feuchte Standorte benötigt. Sie wächst auf mineralienreicher Borke und kommt von Skandinavien bis in ozeanische Lagen vor (Wirth, 1987; Wirth u. a., 2013). *L. saturninum* wird in der Schweiz als potentiell gefährdet (NT) eingestuft (Scheidegger, 2002).



Abbildung 7: *Leptogium saturninum*

Lobaria pulmonaria: Die echte Lungenflechte gehört zu den Laubflechten und kann Durchmesser



von mehreren Dezimetern erreichen. Sie wächst auf der Rinde von Laubbäumen und auf Silikatgestein. Ihr Verbreitungsgebiet sind niederschlagsreiche Gegenden des Mittelmeerraumes bis in die nördliche boreale Zone. Sie ist durch Forstwirtschaft und Luftverunreinigung stark zurückgegangen, viele Vorkommen sind individuenarm und geschädigt (Wirth, 1987; Wirth u. a., 2013). In der Schweiz wird sie als gefährdet (VU) eingestuft (Scheidegger, 2002).

Abbildung 8: *Lobaria pulmonaria*

Parmelia sulcata: Diese Blatfflechte zeichnet sich durch ihren tief geteilten, grauweissen Thallus aus, auf dem sich ein Netz weisser Linien, sogenannte Pseudocyphellen, abzeichnet. Zu finden ist sie vor allem auf der Rinde von Laubbäumen. Sie zählt wegen ihrer breiten ökologischen Amplitude zu den häufigsten epiphytischen Blatfflechten und ist nicht gefährdet (LC) (Scheidegger, 2002; Wirth u. a., 2013).



Abbildung 9: *Parmelia sulcata*



Peltigera praetextata: Die Hundsflechte ist blattförmig mit Blaualgen (Cyanobakterien) als Photobionten. Trocken ist sie graubraun, feucht dunkelgrau bis schwarz. Die Flechte ist an schattigen feuchten Stellen auf morschen Baumstümpfen und bemoostem Untergrund verbreitet (Marbach & Kainz, 2002). Die Art gilt in der Schweiz als nicht gefährdet (LC) (Scheidegger, 2002).

Abbildung 10: *Peltigera praetextata*

Pertusaria albescens: Diese Krustenflechte liegt eng auf dem Untergrund auf und besitzt weisslich-graue Lager. Sie wächst vor allem auf der Rinde von Laubbäumen. Sie kommt bis in die (hoch)montane Stufe vor und bevorzugt freistehende Bäume oder lichte Wälder. *P. albescens* ist in der Schweiz nicht gefährdet (LC) (Scheidegger, 2002).



Abbildung 11: *Pertusaria albescens*



Ramalina fraxinea: Die Art ist eine blassgrünliche bis gelbgrünliche Strauchflechte mit band- bis fadenförmigen Lagerabschnitten. Sie ist typisch für lichtreiche Standorte und nährstoffreiche, subneutral reagierende Laubbaumrinde. Individuen gedeihen optimal in mehreren Metern Stammhöhe. Wegen der Reduzierung der Zahl freistehender Bäume ist die Art zurückgegangen (Wirth, 1987). Sie wird in der Schweiz als potentiell gefährdet (NT) eingestuft (Scheidegger, 2002).

Abbildung 12: *Ramalina fraxinea*

5.5 Herkunft und Chemismus der Gülle und des Mistes

Wie im Kapitel 4 erwähnt, wird die Auswirkung von Mist und Gülle auf die sieben Flechtenarten anhand der folgenden Parameter untersucht: Gülle und Mist in Reinform, Chemismus von Gülle (C1) und Mist (C2), Beschattung (S) und Beschattung sowie Befeuchtung (SW).

Um das Experiment möglichst realitätsnah zu halten, werden Gülle und Mist von einem landwirtschaftlichen Betrieb aus der Region beschafft. Es handelt sich dabei um den Betrieb von Jakob Werren in Zwischenflüh. Die Probeentnahme der Mist- und Gülleprobe erfolgt am 11. September 2017. Dabei wird möglichst nach den Referenzmethoden der Eidg. Landwirtschaftlichen Forschungsanstalten gearbeitet (ART & ACW, 1997). Aus dem Randbereich des Miststockes wird alle 50cm eine Handvoll Mist entnommen. Die Sammelprobe wird durchmischt. Die Gülleprobe erfolgt aus einer Güllegrube. Leider kann das Material vor der Probenahme nicht gemischt werden, da kein Güllerührwerk oder -mixer zur Verfügung steht. Mit einem Eimer werden aus verschiedenen Tiefen drei Proben von circa 1l geschöpft und durchmischt.

Die in Gülle und Mist enthaltenen Nährstoffe wie Phosphat oder Kalium unterscheiden sich zwar im Gehalt, haben jedoch dieselbe Wirkweise (Galler, 2009). Stickstoff hingegen unterscheidet sich je nach Form stark bezüglich seiner Wirksamkeit. Stickstoff im Mist ist vor allem in langfristig verfügbarer, organisch gebundener Form vorhanden. Er ist nicht unmittelbar pflanzenverfügbar und muss erst mineralisiert werden. Im Gegensatz dazu verfügt Gülle über einen hohen Anteil von schnell verfügbarem Ammoniumstickstoff, der unmittelbar wirksam wird (Galler, 2009). Gülle weist mit 6.5 normalerweise einen niedrigeren pH-Wert auf als Mist mit durchschnittlichem pH von 7.8. Bei zunehmender Temperatur und steigendem pH-Wert kann es in der Gülle zur Bildung von Ammoniak kommen, dies ist bei Mist aufgrund des geringeren Ammoniumanteils weniger der Fall (Galler, 2009). Die genauen Resultate der Analyse des Mistes und der Gülle durch ein Umweltanalytiklabor sind im Anhang A und B ersichtlich.

Für die Applikation im Feld werden einerseits Mist und Gülle in Reinform verwendet. Andererseits wird von beiden ein Extrakt hergestellt, um den Effekt des Chemismus zu bestimmen. Dazu werden 50g Mist mit 500ml Wasser in eine Extraktionsflasche gefüllt, 1h auf dem Schüttler geschüttelt und anschliessend durch ein Filterpapier (4-7µm) geleert. Die Gülle wird direkt filtriert.

5.6 Untersuchungsdesign und Datenerhebung

Die Flechten werden mit Mist und Gülle, mit den Extrakten von Gülle (C1) und Mist (C2) behandelt, beschattet (S) und beschattet sowie befeuchtet (SW). Mit der Kontrolle ergibt dies sieben Gruppen. Es wird versucht, pro Flechtenart jeweils sieben Wiederholungen an den Stämmen verschiedener Bäume durchzuführen. Insgesamt werden 20 Bäume behandelt. Die Bäume werden mit einer Schnur und einer Etikette gekennzeichnet. Die Reihenfolge der Behandlungen wird mithilfe des Zufallszahlengenerators von Excel randomisiert. Tabelle 1 zeigt die Anzahl Behandlungen pro Art. Eine detaillierte Aufstellung der Behandlungen ist im Anhang C ersichtlich.

Tabelle 1: Anzahl behandelter Individuen pro Flechtenart

Art	Anzahl behandelter Individuen
<i>E. prunastri</i>	5
<i>L. saturninum</i>	7
<i>L. pulmonaria</i>	1
<i>P. sulcata</i>	10
<i>P. praetextata</i>	17
<i>P. albescens</i>	1
<i>R. fraxinea</i>	1

Behandelt wird 1cm^2 des Flechtenthallus. 2ml der Gülle sowie der Lösungen von Mist und Gülle werden mit einer Pipette appliziert. Der Mist wird von Hand auf einer Fläche von 1cm^2 aufgestrichen, sodass er haften bleibt. Die Beschattung erfolgt durch ein Stück Baumwollstoff, welches auf 1cm^2 zugeschnitten wurde. Um die Befeuchtung zu erhöhen, wird derselbe Stoff mehrmals gefaltet (Abbildung 13).



Abbildung 13: zur Behandlung der Flechten verwendetes Material (Pipette, Stoff, Handschuhe), Nadeln zur Markierung, Sprühflasche zur Befeuchtung, Schnur und Klebeband zur Markierung der Bäume, Massband zur Messung der Höhe

Die Applikation erfolgt einmalig am 19. und 20. September 2017. Behandelt wird der Randbereich des Thallus, da dort das Wachstum stattfindet. Wenn möglich werden alle Behandlungen am gleichen Individuum, jedoch an unterschiedlichen Lappen durchgeführt. Die behandelten Orte werden

mit einer farbigen Stecknadel markiert. Die Stoffe werden mithilfe der Stecknadel am Baum befestigt. Folgende Farbcodierung wird verwendet (Abbildung 14):

- Kontrolle: transparent
- Gülle: rot
- Mist: grün
- Chemismus Gülle (C1): weiss
- Chemismus Mist (C2): schwarz
- Beschattung (S): gelb
- Beschattung und Befeuchtung (SW): blau



Abbildung 14: Behandelter Baum – Reihenfolge der Behandlung: Gülle, Mist, Befeuchtung, Chemismus Mist, Beschattung, Kontrolle und Chemismus Gülle

Am Tag der Applikation werden die Höhe ab Boden, die Exposition und das Azimut der Flechten festgehalten. Ausserdem werden optische Auffälligkeiten wie Flecken, Risse, farbliche Auffälligkeiten, Oberflächenveränderungen oder -verformungen notiert. Alle Flechten werden mit einer Makrokamera und mit einem Smartphone fotografiert.

Nach einer Woche werden die optischen Veränderungen zum ersten Mal erhoben, protokolliert und fotografiert. Die zweite Datenerhebung erfolgt nach eineinhalb Monaten. Zu diesem Zeitpunkt werden die Beschattung, Befeuchtung und der Mist entfernt. Nach drei Monaten erfolgt der letzte Besuch. Die Beurteilung erfolgt jeweils im feuchten Zustand der Flechten. Die Auswertung der Protokolle und Fotos erfolgt beschreibend und vergleichend. Die drei Zeitpunkte werden dem Zustand vor der Behandlung gegenübergestellt und optische Unterschiede festgehalten.

5.7 Beobachtungen im Feld

Bei der Durchführung der Feldarbeiten werden diverse Beobachtungen gemacht und in vielen Fällen muss das theoretische Design an die Praxis angepasst werden. In diesem Kapitel werden Abweichungen vom Plan und besondere Vorkommnisse festgehalten.

5.7.1 Ausgangszustand

Die Wahl der Arten erfolgt nach einem ersten Besuch im Untersuchungsgebiet mit Prof. Dr. Christoph Scheidegger, Gruppenleiter der Forschungseinheit „Biodiversität und Naturschutzbiologie“ an der Eidg. Forschungsanstalt WSL und Korrektor dieser Arbeit. Anschliessend werden selbständig geeignete Bäume ausgewählt. Der Abgleich mit Herrn Scheidegger ergibt, dass die Art *P. albescens* falsch bestimmt worden ist, weshalb nur ein Exemplar in die finale Untersuchung einfliesst. Auch bei der Art *R. fraxinea* bestehen Schwierigkeiten bei der Bestimmung. Sie wird häufig mit *E. prunastri* verwechselt. Dies hat zur Folge, dass eine Flechte der Art *R. fraxinea* und fünf Exemplare von *E. prunastri* behandelt werden. Die Art *L. pulmonaria* wird in der Schweiz als gefährdet eingestuft und kommt nur selten vor. Im Untersuchungsgebiet kann nur ein gut zugängliches Exemplar gefunden werden. Die zweite gefundene Flechte dieser Art befindet sich auf einer Höhe, die nicht erreichbar ist. Aus diesem Grund wird auch von *L. pulmonaria* nur eine Flechte behandelt. Bei Baum elf werden versehentlich zwei Individuen der Art *P. praetextata* behandelt.

Bei der Behandlung fällt auf, dass bei Individuen der Arten *P. albescens*, *R. fraxinea*, *P. sulcata* und *E. prunastri* die aufpipettierte Flüssigkeit abläuft bzw. -perlt, während sie von der Gallertflechte *L. saturninum* eher aufgesaugt wird. Bei *P. praetextata* bleibt die Flüssigkeit in den zahlreichen Vertiefungen stehen. Die Oberfläche der Flechten hat also einen Einfluss auf das Verhalten der Flüssigkeit. Die Arten *P. praetextata* und *L. saturninum* befinden sich zudem häufig an der Stammbasis, während die anderen Arten eher auf circa einem Meter Höhe anzutreffen sind. *R. fraxinea* und *E. prunastri* sind aufgrund der Dreidimensionalität schwer zu behandeln. Die aufpipettierte Flüssigkeit läuft entlang der Äste ab und verbleibt nicht am definierten Behandlungspunkt.

Die kleine Fläche von 1cm² scheint bei diesen Arten zu klein gewählt. Auch das Fotografieren gestaltet sich bei diesen Arten schwierig. Allgemein sind die Bilder bei hellen Flechten oft überbelichtet, weshalb bei diesen auch eine Fotoserie ohne Blitz gemacht wird.

5.7.2 Datenerhebung I

Bei einigen Flechten fehlen zum Zeitpunkt der ersten Datenaufnahmen einige Stecknadeln. Beim einzigen Exemplar der Art *L. pulmonaria* fehlen beispielsweise die Nadeln der Behandlungen S und SW. Diese werden teilweise neu gesteckt, wenn sich der Standort anhand der Fotografien genau bestimmen lässt. Ansonsten werden die Messpunkte von der Analyse ausgeschlossen. Ausserdem haben sich der Mist und auch der angebrachte Stoff (S und SW) von gewissen Flechten gelöst. Dies wird schriftlich festgehalten. Zudem wird festgestellt, dass der einlagige Stoff sich an den Rändern hochdreht. Dies könnte einen Einfluss auf die Resultate haben, falls die Beschattung nur ungenügend stattgefunden hat.

Die Beurteilung der dunklen Flechten (*P. praetextata* und *L. saturninum*) wird als schwieriger empfunden als diejenige heller Arten. Farbliche Veränderungen und Schäden werden kaum festgestellt, was auch auf den mangelnden Kontrast zurückgeführt werden kann.

5.7.3 Datenerhebung II

Zum Zeitpunkt der zweiten Datenerhebung werden der Mist und die Stoffe von S und SW entfernt. Der Mist hat an den meisten Flechten sichtbare Spuren hinterlassen, allerdings ist unklar, inwiefern es sich um Restmaterial des Mistes oder farbliche Veränderungen der Flechte handelt. Es wird erwartet, dass der dritte Beobachtungszeitpunkt hier Klärung verschafft.

Es wird festgestellt, dass die Nadeln von S und SW vergleichsweise oft fehlen. Bei der Wegnahme des Stoffes werden teilweise Flechten beschädigt, dies wird in der Resultatetabelle festgehalten. Bei Baum 3 fehlen sämtliche Nadeln, bei Baum 2 fehlen diejenigen von *P. praetextata*.

Der zweite Besuch findet während einer Periode längerer Trockenheit statt. Dies hat zur Folge, dass vor allem die Individuen der Arten *P. praetextata* und *L. saturninum* optisch heller, trocken, zusammengeschrumpft und verdreht aussehen. Dies ändert sich auch nicht durch Besprühen mit Wasser.

5.7.4 Datenerhebung III

Die dritte Datenaufnahme ist auf Mitte Dezember angesetzt. Da es in der definierten Woche stark schneit, wird der Termin um eine Woche verschoben. Flechten sind auch bei niedrigen Temperaturen noch physiologisch aktiv, weshalb Effekte der Behandlung noch immer wirken sollten. Doch die

circa 40cm Schnee erschweren die Datenerhebung. Viele der Flechten befinden sich auf der wetterexponierten Seite des Stammes, da sie auf Feuchtigkeit und Nährstoffe von aussen angewiesen sind. Darum sind viele der Individuen von Schnee bedeckt. Vor allem die Exemplare der Arten *P. praetextata* und *L. saturninum*, welche sich eher an der Basis des Stammes befinden, sind zum Teil so stark vereist, dass keine Beurteilung stattfinden kann (Abbildung 15). Bei einer erneuten Durchführung eines solchen Experimentes sollte mit der Datenerhebung früher im Jahr begonnen werden.



Abbildung 15: vereistes Exemplar von *P. praetextata*

5.8 Auswertung und Statistik

In einem ersten Schritt werden die Veränderungen in einem qualitativen Teil anhand der Fotos vertieft analysiert. Dazu werden die Bilder der vier Zeitpunkte (vor Behandlung, nach einer Woche, eineinhalb Monaten und drei Monaten) gegenübergestellt, um die Veränderung nachverfolgen zu können. Die Bildreihen werden nach Art und Behandlung sortiert. Dies macht Vergleiche und das Erkennen von Mustern möglich.

Die Vorbereitung der Daten für die statistische Auswertung erfolgt anhand der Tabelle mit den Notizen zum Ausgangszustand und den Veränderungen zu den drei Beobachtungszeitpunkten sowie anhand der Fotografien. Zuerst wird die im Feld ausgefüllte Tabelle bereinigt. Kommentare zu op-

tischen Auffälligkeiten, welche vom ersten Besuch bis zur letzten Beobachtung bestehen bleiben und zu witterungsbedingten Veränderungen werden entfernt, sodass nur Kommentare zu Veränderungen bestehen bleiben, welche über den Zeitraum der Behandlung entstanden sind. Dies wird immer durch den Abgleich mit den Bildern überprüft. Anschliessend werden die Informationen in eine neue Tabelle übertragen, in der die Codierung 0 = keine Veränderung, 1 = Veränderung vergeben wird. Die drei Variablen Veränderung (0 = keine Veränderung, 1 = Veränderung), Art (*E. prunastri*, *L. saturninum*, *L. pulmonaria*, *P. sulcata*, *P. praetextata*, *P. albescens*, *R. fraxinea*) und Behandlung (Kontrolle, Gülle, Mist, Chemismus Gülle (C1), Chemismus Mist (C2), Schatten (S), Schatten und Feuchtigkeit (SW)) bilden die Grundlage für die statistische Auswertung.

Um einen Überblick über die Daten zu erhalten, werden zuerst die relativen Häufigkeiten der Veränderung der unterschiedlichen Arten aufgezeigt. Bei *P. praetextata* und *L. saturninum* werden kaum Veränderungen festgestellt. Auf die möglichen Gründe wird kurz eingegangen. Die beiden Arten werden zusammen mit *P. albescens*, *R. fraxinea* und *L. pulmonaria* von denen jeweils nur ein Exemplar behandelt worden ist, von der statistischen Auswertung ausgenommen. Anschliessend werden die durchschnittlichen Veränderungen von *P. sulcata* und *E. prunastri* nach Behandlung aufgezeigt und anschliessend nach Art aufgetrennt. Die statistische Auswertung erfolgt mit dem Programm SPSS.

Da es sich bei der Veränderung um eine nominale Variable handelt, werden Chi-Quadrat-Tests zwischen der Variable Veränderung und den Variablen Art und Behandlung durchgeführt. Der Chi-Quadrat-Test überprüft, ob ein Zusammenhang zwischen zwei nominalen Variablen besteht (Universität Zürich, 2018). So soll einerseits gezeigt werden, ob durch eine der Behandlungen signifikant mehr Veränderungen als bei der Kontrolle entstehen. Andererseits kann überprüft werden, ob die Arten sich in ihrer Reaktion auf die Behandlungen signifikant voneinander unterscheiden. Da einige der Zellhäufigkeiten kleiner als fünf sind, wird der exakte Test nach Fisher verwendet (Universität Zürich, 2018). Bei diesem Test kann leider nicht ermittelt werden, zwischen welchen Gruppen die Unterschiede bestehen.

Da die Variable Veränderung mit 0 und 1 codiert wurde, kann mit den Mittelwerten gearbeitet werden. Der Mittelwert entspricht einem Anteilswert und kann damit als metrisch betrachtet werden. Es können also auch Tests für metrische Daten gerechnet werden. Hierfür wird zuerst ein Kolmogorov-Smirnov Test durchgeführt, um zu überprüfen, ob die Veränderung normalverteilt ist. Der Test kann auch bei kleinen Stichproben eingesetzt werden (Universität Zürich, 2018). Der Test zeigt, dass sich die Verteilung signifikant von einer Normalverteilung unterscheidet ($p < 0.001$). Somit sollten nicht-parametrische Tests zum Einsatz kommen.

Der Kruskal-Wallis-Test wird verwendet, wenn die Voraussetzungen für ein parametrisches Verfahren nicht gegeben sind. Er ist das nicht-parametrische Pendant zur einfaktoriellen Varianzana-

lyse und setzt weniger hohe Anforderungen an die Verteilung der Messwerte. Die Daten müssen etwa nicht normalverteilt sein. Der Test basiert auf der Verteilung von Rängen (Universität Zürich, 2018). Auch mit dem Kruskal-Wallis-Test wird geprüft, ob durch eine der Behandlungen signifikant mehr Veränderungen als bei der Kontrolle entstehen, und ob die Arten sich in ihrer Reaktion auf die Behandlungen signifikant voneinander unterscheiden. Im Gegensatz zum Chi-Quadrat-Test kann jedoch hier in einem Post-hoc-Test (Dunn-Bonferroni) gezeigt werden, welche Gruppen sich signifikant voneinander unterscheiden.

Bei der Auswertung fällt auf, dass *R. fraxinea* sehr empfindlich auf die Behandlung reagiert. Aus diesem Grund werden die oben durchgeführten Testverfahren unter Miteinbezug von *R. fraxinea* noch einmal gerechnet. Es ist jedoch zu beachten, dass alle Behandlungen nur ein Mal durchgeführt wurden und diese alle auf einem Baum, was in sieben Fällen resultiert.

6 Resultate

In einem ersten Abschnitt werden die Auswirkungen der verschiedenen Behandlungen anhand der Bilder qualitativ ausgewertet. Anschliessend erfolgt die statistische Auswertung der erhobenen Daten.

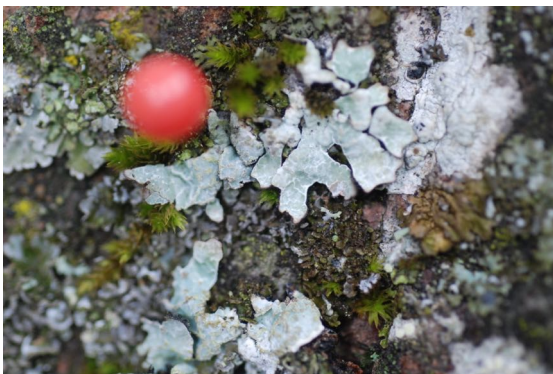
6.1 Qualitative Auswertung

Um zu untersuchen, welche Veränderungen durch die Behandlung stattgefunden haben, werden die Fotografien des Ausgangszustandes sowie der drei Beobachtungszeitpunkte verglichen. Die Resultate werden nach Behandlung und Art gruppiert.

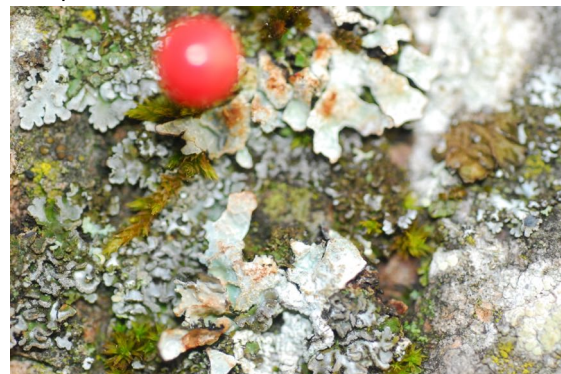
6.1.1 Gülle

Die Behandlung mit Gülle in Reinform führt in sieben Fällen zu Farbveränderungen. Bei *P. sulcata* machen sich rostrote Flecken bemerkbar. Die Verfärbung schwächt sich über die drei Monate ab und verschwindet teilweise wieder (Abbildung 16).

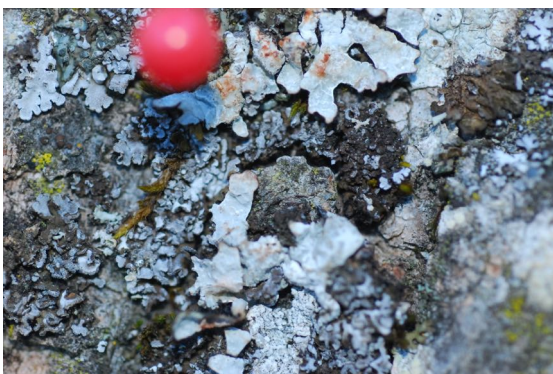
Vor Behandlung



Zeitpunkt 1



Zeitpunkt 2



Zeitpunkt 3

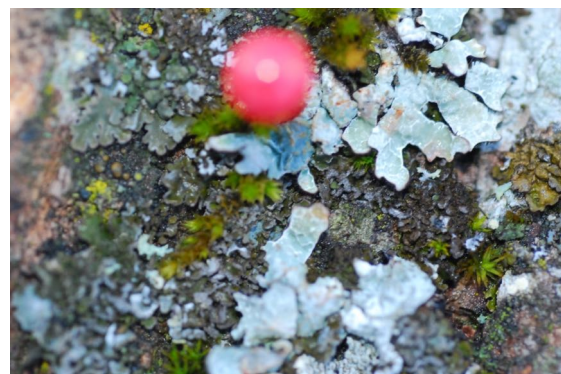


Abbildung 16: Baum 19, *P. sulcata*, behandelt mit Gülle

Auf *R. fraxinea* und *E. prunastri* hinterlässt die Gülle braune Spuren, wo sie den Ästen entlang hinabgelaufen ist. Diese Veränderungen gehen im Gegensatz zu denjenigen von *P. sulcata* nicht zurück (Abbildung 17).

Vor Behandlung



Zeitpunkt 1



Zeitpunkt 2



Zeitpunkt 3



Abbildung 17: Baum 5, *R. fraxinea*, behandelt mit Gülle

6.1.2 Chemismus der Gülle (C1)

Das Auftragen des Gülleextraktes hat in fünf Fällen Veränderungen zur Folge. Bei *E. prunastri* und *R. fraxinea* zeigt sich, dass die Flüssigkeit entlang der Äste abläuft und dort braune Verfärbungen hinterlässt. Diese bleiben auch nach drei Monaten bestehen (Abbildung 18).

Vor Behandlung



Zeitpunkt 1



Zeitpunkt 2



Zeitpunkt 3



Abbildung 18: Baum 1, *E. prunastri*, behandelt mit Gülleextrakt (C1)

Auf *P. sulcata* sind die Verfärbungen ebenfalls braun, konzentrieren sich jedoch eher auf die Randbereiche des Thallus. Zudem schwächen sie sich im Laufe des Beobachtungszeitraums ab und sind zum Schluss nicht mehr erkennbar (Abbildung 19).

Vor Behandlung



Zeitpunkt 1



Zeitpunkt 2



Zeitpunkt 3



Abbildung 19: Baum 18, *P. sulcata*, behandelt mit Gülleextrakt (C1)

Interessant ist ein Fall, bei dem *P. sulcata* selber keine Farbveränderung aufweist, jedoch die darunterliegende Flechte der Gattung *Phlyctis*. Sie ist deutlich rot verfärbt. Die rote Farbe verliert über die drei Monate an Intensität, ist jedoch auch am Ende der Beobachtung noch erkennbar (Abbildung 20).

Vor Behandlung



Zeitpunkt 1



Zeitpunkt 2



Zeitpunkt 3

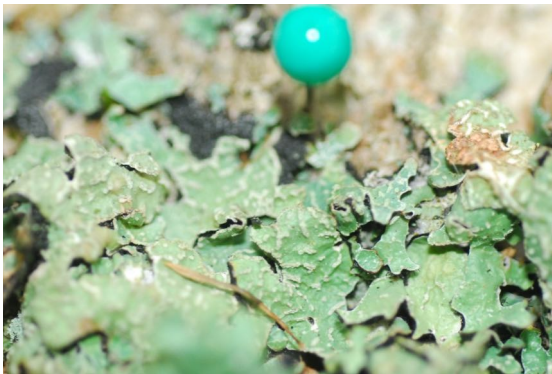


Abbildung 20: Baum 1, *P. sulcata*, behandelt mit Gülleextrakt (C1)

6.1.3 Mist

Dadurch, dass der Mist beim zweiten Besuch im Diemtigtal gelöst wird, stehen nur zwei Bilder zur Verfügung, welche die Veränderung zeigen. 16 Flechten zeigen optische Veränderungen nach der Behandlung mit Mist. Meist bleiben bis zum Zeitpunkt 2 und teilweise auch bis zum letzten Zeitpunkt noch Mistpartikel an den Flechten haften. Abbildung 21 zeigt, wie bei *P. sulcata* starke braune Verfärbungen und teilweise sogar nekrotische Stellen auf dem Thallus sichtbar werden. Diese sind lokal begrenzt auf den Bereich, welcher mit Mist bedeckt worden ist. Sie bleiben bei diesem Exemplar auch nach drei Monaten sichtbar.

Vor Behandlung



Zeitpunkt 1



Zeitpunkt 2



Zeitpunkt 3



Abbildung 21: Baum 1, *P. sulcata*, behandelt mit Mist

Bei einigen Individuen schwächen sich die Spuren über die Zeit jedoch auch ab (Abbildung 22).

Vor Behandlung



Zeitpunkt 1



Zeitpunkt 2



Zeitpunkt 3



Abbildung 22: Baum 10, *P. sulcata*, behandelt mit Mist

Auf *E. prunastri* hinterlässt der Mist braune Flecken (Abbildung 23). Bei *R. fraxinea* kommt dazu eine Rotfärbung der Äste. Hier muss jedoch angemerkt werden, dass die Struktur der Strauchflechten es erschwert, immer denselben Ausschnitt abzubilden und somit die Veränderungen direkt zu vergleichen. Zudem haftet der Mist gut an den Ästen, dies führt stellenweise dazu, dass Teile der Flechten sich beim Entfernen des Mistes lösen.

Vor Behandlung



Zeitpunkt 1



Zeitpunkt 2



Zeitpunkt 3



Abbildung 23: Baum 2, *E. prunastri*, behandelt mit Mist

Auch *L. pulmonaria* reagiert auf die Behandlung mit Mist. Der Thallus verbräunt sich. Die braune Verfärbung bleibt bis nach drei Monaten bestehen (Abbildung 24).

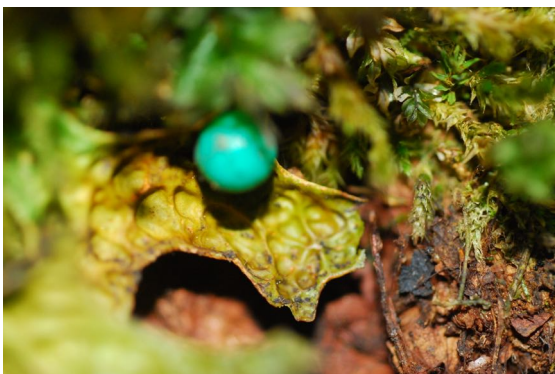
Vor Behandlung



Zeitpunkt 1



Zeitpunkt 2



Zeitpunkt 3



Abbildung 24: Baum 21, *L. pulmonaria*, behandelt mit Mist

6.1.4 Chemismus des Mistes (C2)

Die Behandlung der Flechten mit dem Extrakt des Mistes hat nur in einem Fall eine optische Veränderung zur Folge. Allerdings ist unklar, ob diese Rotverfärbung ein Effekt der Behandlung ist, da das Bild optisch keiner anderen Veränderung gleicht. Die Färbung ist blass, sehr einheitlich und klar begrenzt (Abbildung 25).

Vor Behandlung



Zeitpunkt 1



Zeitpunkt 2



Zeitpunkt 3

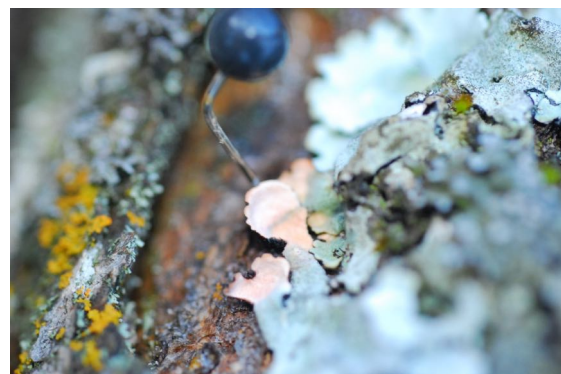


Abbildung 25: Baum 19, *P. sulcata*, behandelt mit Mistextrakt (C2)

6.1.5 Beschattung (S)

Zwei Individuen reagieren auf die Beschattung mit dem Stück Stoff. Wie beim Mist wird der Stoff zum Zeitpunkt 2 entfernt, um den Effekt der Behandlung zu dokumentieren. Aus diesem Grund stehen nur zwei Bilder für die Beurteilung des Zustandes zur Verfügung. Bei *R. fraxinea* verfärbt sich der Bereich rötlich, der vom Stoff bedeckt worden ist. Die Verfärbung bleibt bestehen. Bezüglich der Beschattung zeigen Abbildung 26 und 27, wie sich der verwendete Stoff nach oben rollt.

Vor Behandlung



Zeitpunkt 1



Zeitpunkt 2



Zeitpunkt 3



Abbildung 26: Baum 5, *R. fraxinea*, behandelt mit Beschattung (S)

Die Spitze des Thallus von *P. sulcata* verfärbt sich ebenfalls rötlich. Die Farbveränderung scheint jedoch nach drei Monaten schwächer zu werden (Abbildung 27).

Vor Behandlung



Zeitpunkt 1



Zeitpunkt 2



Zeitpunkt 3



Abbildung 27: Baum 10, *P. sulcata*, behandelt mit Beschattung (S)

6.1.6 Befeuchtung und Beschattung (SW)

Die Behandlung SW führt bei fünf Individuen zu Veränderungen. Wie beim Mist wird der Stoff zum Zeitpunkt 2 entfernt, weshalb nur zwei Bilder für die Beurteilung des Zustandes zur Verfügung stehen. *R. fraxinea* und *E. prunastri* weisen beide Verbräunungen an den Stellen auf, an denen sie vom Stoff bedeckt worden sind. Die farblichen Veränderungen bleiben über drei Monate bestehen (Abbildung 28).

Vor Behandlung



Zeitpunkt 1



Zeitpunkt 2



Zeitpunkt 3



Abbildung 28: Baum 5, *R. fraxinea*, behandelt mit Befeuchtung und Beschattung (SW)

Die Reaktion von *P. sulcata* ist bei dieser Behandlung ähnlich. Vom Stoff bedeckte Stellen sind punktuell rötlich verfärbt. Die Verfärbung wird über die eineinhalb Monate zwischen Zeitpunkt 2 und 3 allerdings schwächer (Abbildung 29).

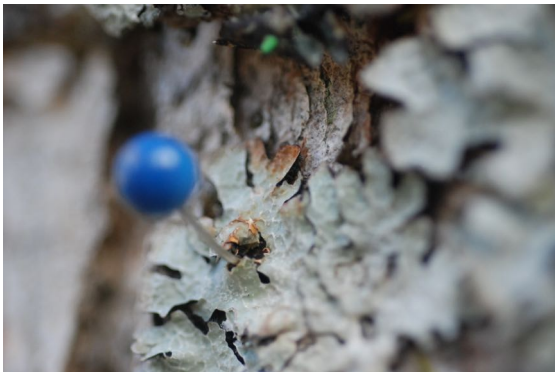
Vor Behandlung



Zeitpunkt 1



Zeitpunkt 2



Zeitpunkt 3



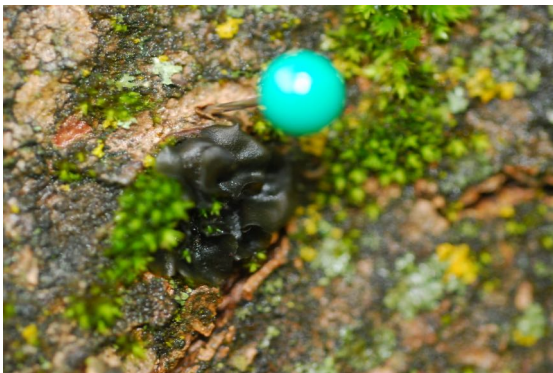
Abbildung 29: Baum 6, *P. sulcata*, behandelt mit Befeuchtung und Beschattung (SW)

6.1.7 Ausschluss von *L. saturninum* und *P. praetextata* von der weiteren Analyse

Anhand zweier Beispiele soll veranschaulicht werden, weshalb die optische Beurteilung von *L. saturninum* und *P. praetextata* schwierig ist. Dafür werden Bilder der Behandlung mit Mist gewählt, da diese bei den anderen Arten am meisten Veränderungen hervorgerufen hat.

Auf Abbildung 30 ist ein Individuum der Art *L. saturninum* zu sehen. Die stark gelappte Oberfläche erschwert es, direkte Vergleiche anzustellen und die dunkle Färbung der Flechte verhindert, dass leichte Braun- oder Rotverfärbungen auffallen. Das Bild zum Zeitpunkt 2 zeigt zudem die Problematik, dass der Mist schlechter auf dieser Art haftet. Möglicherweise ist dies durch die Oberflächenbeschaffenheit des Thallus bedingt.

Vor Behandlung



Zeitpunkt 1



Zeitpunkt 2



Zeitpunkt 3

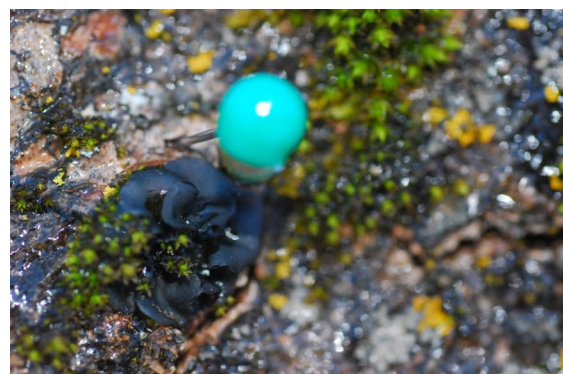


Abbildung 30: Baum 20, *L. saturninum*, behandelt mit Mist

Abbildung 31 zeigt *P. praetextata*. Auch bei dieser Art ist das Erkennen optischer Veränderungen aufgrund der dunklen Oberfläche kaum möglich. Im Kapitel 7.1 wird besprochen, wie mithilfe anderer methodischer Vorgehensweisen die Auswirkung von Gülle- und Mistapplikation auf diese beiden Arten untersucht werden könnte.

Vor Behandlung



Zeitpunkt 1



Zeitpunkt 2



Zeitpunkt 3

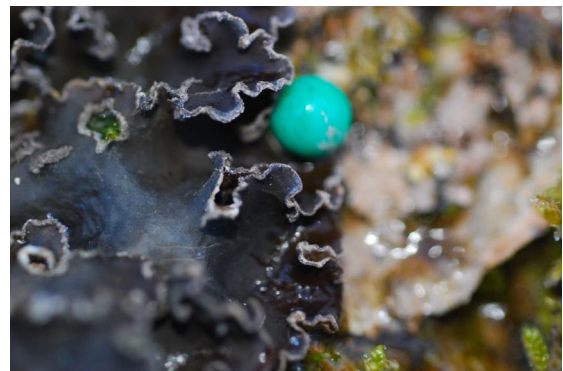


Abbildung 31: Baum 12, *P. praetextata*, behandelt mit Mist

Die Individuen der beiden Arten sind zudem zum Zeitpunkt 3 häufig von Schnee bedeckt und vereist. Aufgrund der erschwerten Beurteilung und des hohen Vereisungsgrades wird beschlossen, *L. saturninum* und *P. praetextata* von der statistischen Analyse auszuschliessen.

6.2 Statistische Auswertung

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die gesammelten Daten. Zuerst nach Art und dann nach Behandlung wird aufgeschlüsselt, ob die verschiedenen Behandlungen zu einer Veränderung führen oder nicht.

Tabelle 2: Datenübersicht – keine Veränderung/Veränderung nach Art (*E. prunastri*, *L. saturninum*, *L. pulmonaria*, *P. sulcata*, *P. praetextata*, *P. albescens*, *R. fraxinea*) und Behandlung (Kontrolle, Gülle, Mist, C1, C2, S, SW) getrennt

Art	Behandlung	Keine Veränderung	Veränderung	Total
<i>E. prunastri</i>	Kontrolle	4	0	4
	Gülle	3	2	5
	Mist	0	4	4
	C1	4	1	5
	C2	5	0	5
	S	5	0	5
	SW	3	1	4
	Total	24	8	32
<i>L. saturninum</i>	Kontrolle	6	0	6
	Gülle	6	0	6
	Mist	6	0	6
	C1	6	0	6
	C2	7	0	7
	S	5	0	5
	SW	5	0	5
	Total	41	0	41
<i>L. pulmonaria</i>	Kontrolle	1	0	1
	Gülle	1	0	1
	Mist	0	1	1
	C1	1	0	1
	C2	1	0	1
	S	0	0	0
	SW	0	0	0
	Total	4	1	5
<i>P. sulcata</i>	Kontrolle	10	0	10
	Gülle	6	4	10
	Mist	1	8	9
	C1	7	3	10

	C2	9	1	10
	S	8	1	9
	SW	5	3	8
	Total	46	20	66
<i>P. praetextata</i>	Kontrolle	10	0	10
	Gülle	10	0	10
	Mist	7	1	8
	C1	9	0	9
	C2	10	0	10
	S	8	0	8
	SW	7	0	7
	Total	61	1	62
<i>P. albescens</i>	Kontrolle	1	0	1
	Gülle	1	0	1
	Mist	0	1	1
	C1	1	0	1
	C2	1	0	1
	S	1	0	1
	SW	1	0	1
	Total	6	1	7
<i>R. fraxinea</i>	Kontrolle	1	0	1
	Gülle	0	1	1
	Mist	0	1	1
	C1	0	1	1
	C2	1	0	1
	S	0	1	1
	SW	0	1	1
	Total	2	5	7
Total	Kontrolle	33	0	33
	Gülle	27	7	34
	Mist	14	16	30
	C1	28	5	33
	C2	34	1	35
	S	27	2	29
	SW	21	5	26
	Total	184	36	220

Abbildung 32 zeigt aufgeschlüsselt nach Arten, bei wie vielen Behandlungspunkten im Durchschnitt eine optische Veränderung festgestellt wird. Werden alle Arten gemeinsam betrachtet, so treten bei 16% der Behandlungspunkte Veränderungen auf. Neben den beiden zuvor erwähnten Arten *P. praetextata* und *L. saturninum* werden auch *P. albescens*, *R. fraxinea* und *L. pulmonaria* nicht weiter in die statistische Auswertung aufgenommen, weil nur ein einziges Exemplar behandelt worden ist und bei *L. pulmonaria* zwei Behandlungspunkte im Laufe des Untersuchungszeitraumes weggefallen sind.

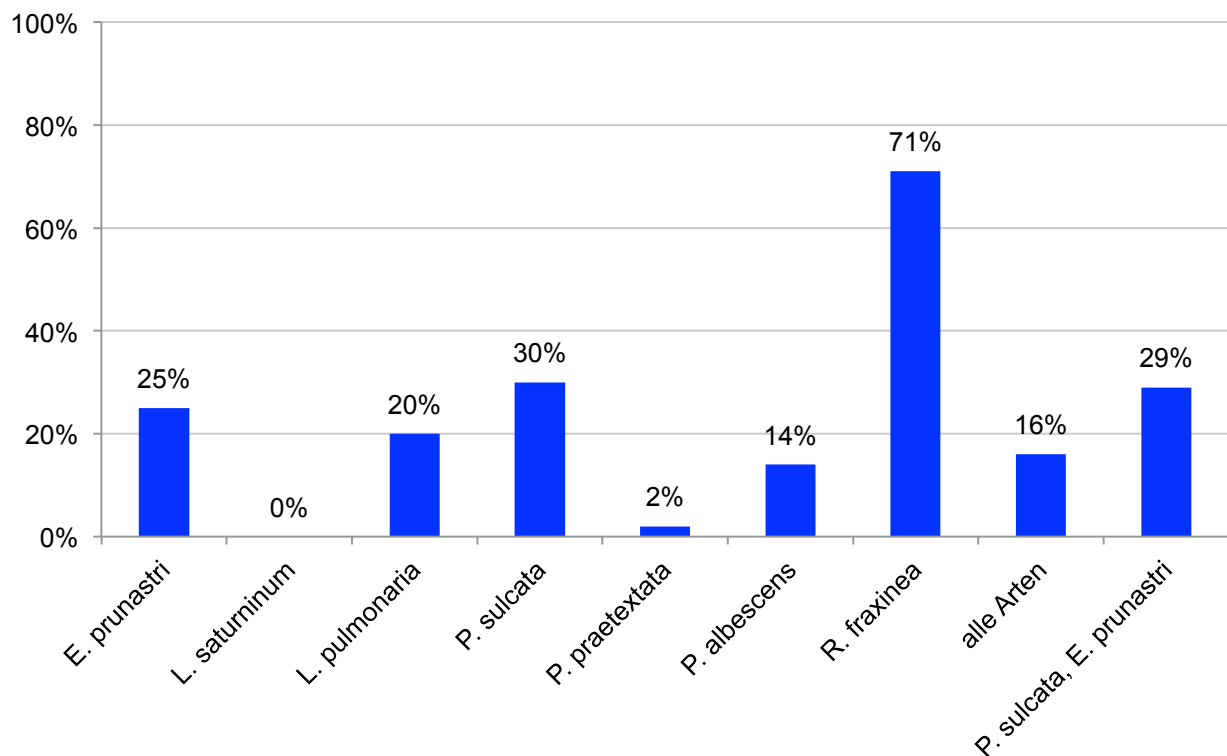


Abbildung 32: durchschnittliche Veränderung nach Art (*E. prunastri*, *L. saturninum*, *L. pulmonaria*, *P. sulcata*, *P. praetextata*, *P. albescens*, *R. fraxinea*)

Betrachtet man nur *P. sulcata* und *E. prunastri*, so steigt die durchschnittliche Anzahl veränderter Behandlungspunkte auf 29%. Bei der Art *P. sulcata* weisen 30% der Behandlungspunkte optische Veränderungen auf, bei *E. prunastri* 25%.

Werden die Zahlen der beiden Flechten nach den unterschiedlichen Behandlungen ausgewertet (Abbildung 33), so weisen 92% der mit Mist behandelten Punkte eine Veränderung auf. Die Güllebehandlung führt in 40% der Fälle zu optischen Veränderungen. Wird nur das Filtrat der Gülle (C1) verwendet, treten in 27% der Fälle Veränderungen auf. Die Befeuchtung hat bei 33% der Fälle Veränderungen zur Folge, die reine Beschattung und die Behandlung mit Mistextrakt bei 7%.

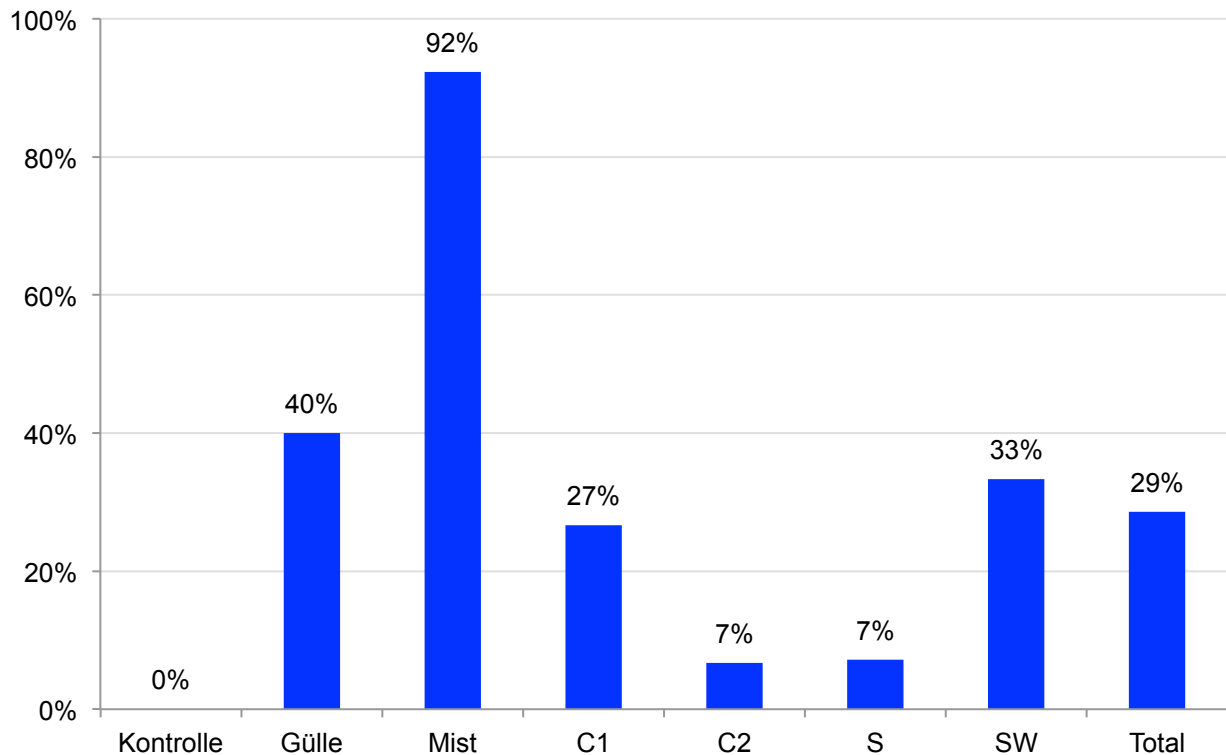


Abbildung 33: durchschnittliche Veränderung von *P. sulcata* und *E. prunastri* nach Behandlung (Kontrolle, Gülle, Mist, Chemismus von Gülle (C1), Chemismus von Mist (C2), Beschattung (S), Beschattung und Befeuchtung (SW) und Total)

Werden Art und Behandlung gemeinsam betrachtet, so ergibt sich folgendes Bild (Abbildung 34): Der Mist ruft bei beiden Arten die meisten Veränderungen hervor, gefolgt von Gülle, Befeuchtung und C1. Nun soll getestet werden, ob die Variablen Art und Behandlung einen Einfluss auf die Variable Veränderung haben.

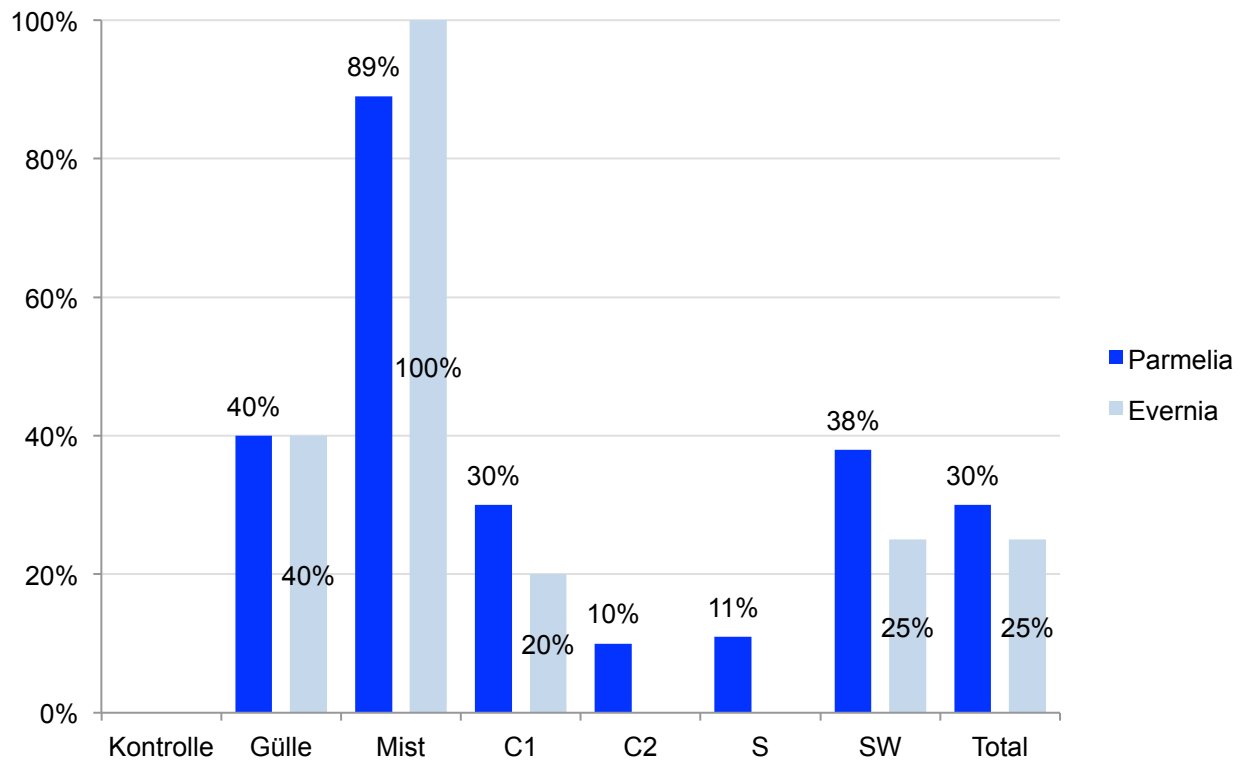


Abbildung 34: durchschnittliche Veränderung nach Art (*P. sulcata*, *E. prunastri*) und Behandlung (Kontrolle, Gülle, Mist, Chemismus von Gülle (C1), Chemismus von Mist (C2), Beschattung (S), Beschattung und Befeuchtung (SW) und Total)

Der Chi-Quadrat-Test zeigt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Art und Veränderung (*Cramer's V* = 0.055; *p* = 0.641). Dafür hat die Behandlung einen Einfluss auf die Veränderung, der Zusammenhang kann als mittelstark bezeichnet werden (*Cramer's V* = 0.633, *p* < 0.001).

Auch der Kruskal-Wallis-Test zeigt einen signifikanten Einfluss der Behandlung auf die Veränderung an ($p < 0.001$). Der Dunn-Bonferroni-Test zeigt, dass sich die Behandlung Mist von der Kontrolle unterscheidet ($p < 0.001$). Die Behandlung mit Mist hat also zu signifikant mehr Veränderungen geführt als die Kontrolle. Bei den anderen Behandlungen war der Effekt nicht signifikant (Tabelle 3).

Tabelle 3: Teststatistik und p -Werte des Dunn-Bonferroni-Tests für den Unterschied der Veränderung zwischen der Kontrolle und den Behandlungen Gülle, Chemismus von Gülle (C1), Mist, Chemismus von Mist (C2), Beschattung (S) und Beschattung und Befeuchtung (SW) für *P. sulcata*, *E. prunastri*

Variablen	Teststatistik	p -Wert
Kontrolle-Gülle	-2.371	0.373
Kontrolle-C1	-1.580	1.000
Kontrolle-Mist	-5.278	< 0.001
Kontrolle-C2	-0.395	1.000
Kontrolle-S	-0.028	1.000
Kontrolle-SW	-1.866	1.000

Werden die Testverfahren unter Miteinbezug von *R. fraxinea* noch einmal gerechnet, so wird der Chi-Quadrat-Test zwischen Art und Veränderung diesmal marginal signifikant (Fisher's Exact Test = 5.291, $p = 0.058$). Interessanterweise wird die exakte Signifikanzberechnung bei Cramer's V signifikant. Die Variable Art hat demnach einen schwachen Einfluss auf die Veränderung (Cramer's $V = 0.236$, $p = 0.047$). Betrachtet man die Behandlung und die Veränderung, so ist Fischer's Exact Test signifikant ($p < 0.001$). Das Zusammenhangsmass Cramer's V beträgt 0.616, es handelt sich demnach um einen mittleren Zusammenhang ($p < 0.001$).

Erneut wird für die Art und die Behandlung ein Kruskal-Wallis-Test durchgeführt, um festzustellen, zwischen welchen Gruppen signifikante Unterschiede bestehen. Der Test für die Art ist ebenfalls marginal signifikant ($p = 0.055$). Hier zeigt der Post-hoc-Test, dass die Unterschiede zwischen *R. fraxinea* und den anderen beiden Arten bestehen (Tabelle 4). Bei *R. fraxinea* sind mehr Veränderungen aufgetreten als bei *P. sulcata* und *E. prunastri*.

Tabelle 4: Teststatistik und p -Werte des Dunn-Bonferroni-Tests für den Unterschied der Veränderung zwischen den Arten *R. fraxinea*, *E. prunastri* und *P. sulcata*

Variablen	Teststatistik	p -Wert
<i>R. fraxinea</i> – <i>E. prunastri</i>	0.598	0.051
<i>R. fraxinea</i> – <i>P. sulcata</i>	-2.385	0.080
<i>E. prunastri</i> – <i>P. sulcata</i>	-2.218	1.000

Werden die Behandlungen getestet, so führt die Behandlung mit Mist ebenfalls zu signifikant mehr Veränderungen als die Kontrolle ($p < 0.001$). Die p -Werte des Dunn-Bonferroni-Tests für die einzelnen Behandlungen (verglichen mit der Kontrolle) sind in Tabelle 5 ersichtlich.

Tabelle 5: p -Werte des Dunn-Bonferroni-Tests für den Unterschied der Veränderung zwischen der Kontrolle und den Behandlungen Gülle, Chemismus von Gülle (C1), Mist, Chemismus von Mist (C2), Beschattung (S) und Beschattung und Befeuchtung (SW) für *P. sulcata*, *E. prunastri* und *R. fraxinea*

Variablen	Teststatistik	p -Wert
Kontrolle-Gülle	-2.610	0.190
Kontrolle-C1	-1.864	1.000
Kontrolle-Mist	-5.357	< 0.001
Kontrolle-C2	-0.373	1.000
Kontrolle-S	-0.783	1.000
Kontrolle-SW	-2.176	0.621

Einzig die Behandlung mit Mist hat demnach zu signifikant mehr Veränderungen geführt als die Kontrolle. *R. fraxinea* hat zudem empfindlicher auf die Behandlungen reagiert als *E. prunastri* und *P. sulcata*.

7 Diskussion

Nachfolgend sollen die gewonnenen Resultate besprochen werden. In einem ersten Schritt wird das methodische Vorgehen diskutiert, dies ermöglicht eine bessere Einordnung der Ergebnisse. Zudem werden Vorschläge für zukünftige Untersuchungen eingebracht. Anschliessend werden die anfänglich aufgestellten Forschungsfragen und Hypothesen besprochen und die Resultate mit dem aktuellen Stand der Forschung verglichen. Zum Schluss folgt eine Empfehlung für Landwirtinnen und Landwirte, wie eine für Flechten schonende Bewirtschaftung ihres Landes aussehen könnte.

7.1 Methodik

Bei der ersten Begehung im Feld mit Prof. Dr. Christoph Scheidegger wurden die Arten zum ersten Mal betrachtet und bestimmt. Da die Arbeit ohne vorhergehende Artenkenntnis begonnen wurde, hatte dies zur Folge, dass einige Arten falsch bestimmt wurden und somit teilweise zu wenig Individuen pro Art behandelt wurden. Bei drei Arten (*R. fraxinea*, *L. pulmonaria* und *P. albescens*) wurde nur eine Flechte behandelt. Dies führte zu einem unausgewogenen Design und dazu, dass nicht alle Ergebnisse in die statistische Auswertung miteinbezogen werden konnten. Bei einer zukünftigen Arbeit müsste vorgängig sichergestellt werden, dass die Arten richtig bestimmt werden und genügend Individuen pro Art vorhanden sind.

Auch die Behandlung könnte optimiert werden. Beim Aufpipettieren der Flüssigkeiten (Gülle, C1 und C2) lief ein Grossteil der Flüssigkeit direkt ab. Hier könnte eine Sprühflasche eingesetzt werden. Die behandelte Fläche sollte zudem grösser gewählt werden, weil sich beispielsweise der Mist nur schwierig auf 1cm² begrenzen lässt. Verschiedene Faktoren erschwerten zudem die Behandlung. Dies war zum einen die Dreidimensionalität der Strauchflechten. Auf gewissen Flechten wie z.B. *L. saturninum* haftete der Mist zudem nur schlecht. Ausserdem drehte sich der zur Beschattung verwendete Stoff nach oben, was möglicherweise die Reaktionen auf die Behandlung S abschwächte. Hier müsste ein anderes Material oder mehr Nadeln verwendet werden. Die Wegnahme des Mistes und der Stoffe von S und SW führte in einigen Fällen zu Schäden an den Flechten. Dies lässt sich kaum verhindern, wäre bei einer grösseren Stichprobe jedoch weniger bedeutend.

Das Festhalten der Resultate mittels Fotografien müsste ebenfalls verbessert werden. Nicht immer wurde der gleiche Ausschnitt festgehalten und die Belichtung war trotz Blitz je nach Tageszeit unterschiedlich gut. Mithilfe eines Stativs kann der Abstand zum Baum eingestellt werden. Markierungen auf den Flechten könnten helfen, immer denselben Ort abzubilden.

Die Struktur des Semesters führte dazu, dass mit der Feldarbeit erst im September begonnen wurde. Aus diesem Grund fiel die letzte Datenaufnahme relativ spät im Jahr aus und einige Flechten waren bereits mit Schnee bedeckt. In einer Folgeuntersuchung müsste ein früherer Zeitraum gewählt werden.

Generell wäre eine grössere Stichprobe empfehlenswert. Durch die kleine Stichprobe müssen Unterschiede recht deutlich sein, um signifikant zu werden. Bei grösseren Stichproben hätten möglicherweise die Behandlungen Gülle und SW ebenfalls zu signifikanten Effekten geführt. Zudem wären damit Verluste aufgrund der Behandlung besser auszugleichen und es ergäbe sich die Möglichkeit, die Ergebnisse detaillierter auszuwerten. So könnten beispielsweise Bäume, Zeitpunkte, Azimut oder Talseiten miteinander verglichen werden.

Die gewählte Untersuchungsdauer scheint für die Behandlung mit Gülle gut geeignet. Permanente Effekte werden bereits nach einer Woche sichtbar; es braucht jedoch drei Monate, um zu sehen, ob ein Effekt reversibel ist, wie dies bei einigen Exemplaren von *P. sulcata* der Fall war. Für die Behandlung mit Mist könnte der Beobachtungszeitraum sogar noch verlängert werden. Der Mist hinterlässt Partikel, welche es erschweren, die Veränderung zu beurteilen. Eine spätere Beurteilung würde dies vereinfachen.

Spannend wäre es, in zukünftigen Studien neben optischen Veränderungen weitere Vitalitätsparameter miteinzubeziehen. Durch die Messung des Wachstums könnten auch positive Effekte ermittelt werden. Ausserdem liessen sich durch die Messung von Chlorophyll *a* bzw. Ergosterol die Reaktionen von Alge und Pilz unterscheiden. So könnten möglicherweise auch bei Flechten wie *L. saturninum* und *P. praetextata*, bei welchen optische Veränderungen nur schwer feststellbar sind, Auswirkungen festgestellt werden. Um solche Messungen vornehmen zu können, müssten die Flechten allerdings transplantiert werden.

7.2 Beantwortung der Forschungsfragen und Hypothesen und Einordnung in den Stand der Forschung

Die statistische Auswertung der Daten hat ergeben, dass einzig der Mist zu signifikant mehr Veränderungen auf den Flechten als bei der Kontrollgruppe geführt hat. Bei der qualitativen Untersuchung der Fotos werden jedoch auch bei den anderen Behandlungen Veränderungen festgestellt. Mit diesen Ergebnissen sollen nun die anfangs aufgestellten Hypothesen diskutiert werden, um anschliessend die Forschungsfragen zu beantworten.

Hypothese 1: Die Applikation des reinen Chemismus von Gülle und Mist bewirkt keine Verfärbungen oder Nekrosen der Flechten.

Die Lösungen von Gülle und Mist haben unterschiedliche Reaktionen zur Folge. Zwar unterscheidet sich keine der Behandlungen statistisch signifikant von der Kontrolle, doch zeigen bei C1 fünf Flechten farbliche Veränderungen. Die Arten scheinen ebenfalls unterschiedlich zu reagieren. Bei *P. sulcata* verblasst die Farbveränderung im Zeitraum von drei Monaten, bei *E. prunastri* und *R. fraxinea* hingegen bleibt sie bestehen. Möglicherweise handelt es sich bei den Verfärbungen von *P. sulcata* zuerst um die Farbe des Gülleextraktes, welche im Laufe der Zeit gewaschen wird. Bei *E. prunastri* und *R. fraxinea* bleibt die rote Farbe bestehen, was bedeutet, dass eine chemische Veränderung der Flechteninhaltsstoffe stattgefunden hat. Das Verschwinden der grünen Farbe der Flechte deutet auf ein Absterben der Alge. Die aufgetragenen Nährstoffe scheinen also nicht wie angenommen ein Wachstum auszulösen. Möglicherweise ist die Ammoniumkonzentration des Gülleextraktes zu hoch und führt wie bei Munzi u. a. (2009) zu Membranschädigungen oder wie bei Gaio-Oliveira u. a. (2004) zu Chlorophylldegradation. Ein Absterben der Alge ist irreversibel und führt dazu, dass die Flechte an den betroffenen Thallusbereichen nicht mehr wächst und längerfristig ganz abstirbt, da der Pilz von der Alge nicht mehr mit Kohlenhydraten versorgt wird. Um die Hypothese bezüglich der Behandlung mit dem Gülleextrakt (C1) statistisch untermauern zu können, müssten weiterführende Experimente durchgeführt werden. So könnten auch die Reaktionen der verschiedenen Arten besser verglichen werden.

Der Mistextrakt hat nur in einem Fall eine Veränderung hervorgerufen. Wie im Kapitel 6.1.4 erwähnt, weicht diese von den beobachteten Mustern ab. Deshalb ist es fraglich, ob diese Veränderung wirklich von der Behandlung herrührt. Entweder konnten die aufgebrachten Nährstoffe wie angenommen von der Flechte für Wachstum verwendet werden, oder die Extraktionsmethode hat zu wenige Inhaltsstoffe herauslösen können, um optische Veränderungen hervorzurufen. Wie die chemische Analyse ergeben hat, liegt im Mist der meiste Stickstoff in organisch gebundener Form vor. Eventuell hätte eine andere Extraktionsmethode abweichende Ergebnisse hervorgerufen.

Hypothese 2: Die Applikation von Gülle bewirkt keine Verfärbungen oder Nekrosen der Flechten.

Für die Gülle konnte statistisch kein signifikanter Unterschied zur Kontrolle nachgewiesen werden. Dennoch wiesen sieben Individuen Farbveränderungen auf. Die Reaktionen sind vergleichbar mit denjenigen auf die Behandlung C1. Bei *P. sulcata* scheint sich die farbliche Veränderung abzuschwächen, bei *E. prunastri* und *R. fraxinea* ist der Schaden permanent. Es wird vermutet, dass mit höheren Fallzahlen ein statistisch signifikanter Effekt hätte festgestellt werden können. Damit wäre die Hypothese widerlegt worden. Wie beim Gülleextrakt ist möglicherweise der Ammoniumgehalt zu hoch und wirkt toxisch auf gewisse Flechteninhaltsstoffe.

Hypothese 3: Beschattung bewirkt Verfärbungen oder Nekrosen der Flechten.

Auch diese Hypothese kann statistisch nicht bewiesen werden. Nur in zwei Fällen hat die Beschattung eine Verfärbung zur Folge. Hier muss, wie bereits mehrfach erwähnt, die Qualität der Beschattungsmethode in Frage gestellt werden. Möglicherweise genügte der Stoff nicht, um einen ausreichenden Beschattungseffekt herzustellen.

Hypothese 4: Erhöhte Feuchtigkeit in Kombination mit Beschattung bewirkt Verfärbungen oder Nekrosen der Flechten.

Die Reaktionen auf die Kombination von Beschattung und Befeuchtung sind stärker als diejenigen auf die reine Beschattung. Fünf Individuen weisen Farbveränderungen auf und diese sind zudem von intensiverer Farbe. Erneut zeigen sich bei *P. sulcata* Anzeichen auf eine Reversibilität des Effektes, bei *E. prunastri* und *R. fraxinea* bleiben die Veränderungen bestehen. Die betroffenen Thallusbereiche von *E. prunastri* und *R. fraxinea* sind nachhaltig geschädigt. Auch hier fehlt die grüne Farbe, weshalb vom Absterben des Algenpartners ausgegangen wird. Es ist davon auszugehen, dass das für die Photosynthese benötigte Licht fehlte. Laut Palmqvist & Sundberg (2000) wird bei genügend Feuchtigkeit Licht zum limitierenden Faktor. Wie bei den anderen Behandlungen könnten mit grösseren Fallzahlen repräsentativere Aussagen gemacht werden.

Hypothese 5: Die Applikation von Mist bewirkt Verfärbungen oder Nekrosen der Flechten.

Dies ist die einzige Hypothese, die statistisch bestätigt werden kann. Die Behandlung mit Mist führt zu signifikant mehr Veränderung als die Kontrolle. 16 Flechten weisen farbliche Veränderungen und teilweise sogar Nekrosen auf. Wieder haben sich einige Exemplare von *P. sulcata* erholen können, doch bei dieser Behandlung bleiben auch bei vielen Individuen dieser Art die Veränderungen bestehen. Interessant ist, dass bei *P. sulcata* die vegetativen Ausbreitungseinheiten betroffen sind. Dies führt zum verminderten Wachstum der Lappen und beeinträchtigt die Verbreitung. Die nekrotischen Stellen zeigen, dass Teile des Thallus bereits irreversibel geschädigt sind. Der Mist führt bei allen Arten, ausser den ausgeschlossenen *P. praetextata* und *L. saturninum*, zu Schädigungen. Bei *P. sulcata* und *E. prunastri*, bei denen viele Individuen behandelt wurden, sind an über 90% der Behandlungspunkte Veränderungen festzustellen.

Unter Berücksichtigung der oben diskutierten Hypothesen wird nun auf die Forschungsfragen eingegangen:

Forschungsfrage 1: Wie wirkt sich die Applikation von Mist und Gülle auf Flechten am Bergahorn aus?

Die Applikation von Mist und Gülle hat bei zahlreichen Flechten zu optischen Veränderungen wie Verfärbungen und teilweise auch Nekrosen geführt. Trotz der geringen Fallzahlen wird der Effekt

der Behandlung mit Mist statistisch signifikant, was auf einen starken Einfluss des Mistes auf die Flechten hinweist. Aber auch die Behandlungen mit Gülle, dem Chemismus der Gülle (C1) und der Beschattung und Befeuchtung (SW) führen in vielen Fällen zu Schäden. Zuvor wurde bereits diskutiert, wieso die Beschattung (S) und die Behandlung mit dem Mistextrakt (C2) kaum zu Veränderungen geführt haben. Die optisch wahrnehmbaren Veränderungen bedeuten, dass eine chemische Veränderung der Flechteninhaltsstoffe stattgefunden hat. Es wird angenommen, dass bei der Gülle und dem Gülleextrakt die hohe Nährstoffkonzentration toxisch wurde. Bei den Behandlungen S und SW könnte der Lichtmangel entscheidend sein. Bei der Diskussion der Hypothesen wurde bereits gesagt, dass die Rotfärbung von *R. fraxinea* darauf hindeutet, dass die Alge abgestorben ist. Bei *P. sulcata* sind teils die vegetativen Ausbreitungseinheiten verbräunt. Entscheidend für die Auswirkung des Schadens ist sicher, welcher Teil der Flechte betroffen ist. Wird das Individuum im Bereich der Lappenenden oder an den vegetativen Ausbreitungseinheiten geschädigt, so bedeutet dies wahrscheinlich ein vermindertes Wachstum und längerfristig ein Absterben der Flechte. Ist die Mitte des Thallus betroffen, so ist der Effekt eventuell reversibel.

Interessant ist sicher die Tatsache, dass die Arten augenscheinlich unterschiedlich empfindlich reagieren. *R. fraxinea* weist nach allen Behandlungen (ausser C2) farbliche Veränderungen auf, während bei *P. sulcata* anfängliche Verfärbungen oft wieder verschwinden. Dies deckt sich zumindest teilweise mit den Erkenntnissen von Welch, Gillman & John (2006). Die Autoren führen die unterschiedlichen Reaktionen verschiedener Arten auf die unterschiedliche Fähigkeit zurück, Wachstum zwischen Photobiont und Mykobiont zu koordinieren. Wie im Kapitel 7.1 erwähnt, könnte der Miteinbezug weiterer Vitalitätsparameter wie Chlorophyll *a* oder Ergosterol hier weitere Informationen liefern. Erkenntnisse hinsichtlich der unterschiedlichen Empfindlichkeit sind besonders wichtig für den Schutz gefährdeter Arten. *R. fraxinea* wird als potentiell gefährdet eingestuft und ist durch das Verschwinden freistehender Bäume zurückgegangen (Scheidegger, 2002; Wirth, 1987). Die Art reagiert stark auf die Behandlungen. Dies ist ein wichtiges Argument für den Erhalt und die schonende Bewirtschaftung der Bergahornweiden.

Forschungsfrage 2: Welcher Parameter ist dabei zentral – Chemismus, Licht oder Feuchtigkeit?

Es ist unklar, welcher Parameter entscheidend ist, um die Veränderung zu erklären. Neben dem Mist haben sowohl die Kombination von Befeuchtung und Beschattung wie auch die reine Gülle bei einigen Individuen Veränderungen hervorgerufen. Ein Aspekt, der vernachlässigt wird, ist die Veränderung des pH-Wertes. Verschiedene Studien zeigen, dass negative Effekte an Flechten durch hohe Mengen an Stickstoff weniger durch den Nährstoffüberschuss, sondern vielmehr durch die pH-Veränderung zustande kommen (Frati u. a., 2007; Van Herk, 2001). Hier würde eine Messung des Rinden-pHs zusätzliche Erkenntnisse liefern. Leider wurden zu wenige Individuen be-

handelt, um den Effekt des Mistes in Chemismus, Licht und Feuchtigkeit aufschlüsseln zu können. Der Lichtmangel durch die Behandlung mit Mist ist aber bestimmt ein wichtiger Faktor.

Eine weiterführende Untersuchung könnte den Effekt der einzelnen Parameter Chemismus, Licht und Feuchtigkeit analysieren. Über die genauen Auswirkungen der Behandlung könnten die Messungen von Chlorophyll *a* und Ergosterol Auskunft geben. Zudem ist es wichtig, die Reaktionen der einzelnen Arten zu ermitteln, um Schutzmassnahmen an die Bedürfnisse gefährdeter Arten anpassen zu können.

8 Fazit und Bewirtschaftungsempfehlungen

Das durchgeführte Feldexperiment hat die Folgen von Gülle- und Mistapplikation auf Flechten am Bergahorn untersucht und dabei festgestellt, dass insbesondere das Aufbringen von Mistpartikeln signifikante Veränderungen nach sich zieht. Die Flechten weisen nach drei Monaten rote und braune Verfärbungen und teilweise nekrotische Stellen auf. Auch die Behandlung mit Gülle, die Beschattung und Befeuchtung haben zu Farbveränderungen geführt. Ist der Wachstumsbereich der Flechte betroffen, so hat dies Einfluss auf die Verbreitung. Da dem Bergahorn eine besondere Rolle als Lebensraum für zahlreiche, auch bedrohte Flechtenarten zukommt, ist eine schonende Bewirtschaftung zentral. Die Prozesse der Düngerausbringung müssen so angepasst werden, dass die Stämme der Bäume nicht betroffen sind. Dies macht auch insofern Sinn, als die Nährstoffe am Stamm für die landwirtschaftliche Kultur verloren sind. Um die negativen Folgen der Düngerausbringung auf die Flechten an Bergahornen zu verhindern, werden nun einige Vorschläge gemacht, wie eine angepasste Bewirtschaftung für Landwirtinnen und Landwirte aussehen und wie sie gefördert werden könnte.

Bereits jetzt sind einheimische standortgerechte Einzelbäume als Biodiversitätsförderelement anrechenbar (Caillet-Bois, Weiss, Benz, & Stäheli, 2016). Werden Bäume als Biodiversitätsförderfläche (BFF) eingetragen, zieht dies Vorschriften für die Pflege und Bewirtschaftung nach sich. So ist die Düngung in einem Abstand von 3m um den Baum herum verboten (Caillet-Bois u. a., 2016). Dieser Abstand reicht jedoch je nach eingesetztem Gerät nicht aus für einen genügenden Schutz der stammbewohnenden Epiphyten. Er müsste also angepasst werden. Zudem werden für die Bäume erst Direktzahlungsbeiträge ausbezahlt, wenn sie Teil eines Vernetzungsprojektes sind. Der Beitrag von fünf Franken pro Baum ist für die entstehende Mehrarbeit nicht ausreichend. Hier besteht die Möglichkeit, bereits ab Qualitätsstufe I oder II Beiträge zu gewähren, oder die Beiträge im Rahmen von Vernetzungsprojekten zu erhöhen.

Im Landschaftsqualitätsprojekt des Kantons Bern für den Projektperimeter Regionaler Naturpark Diemtigtal werden Landschaftsziele für die Landschaftseinheit Niesen – Diemtigtal definiert. Eines dieser Ziele lautet: „Erhalten und Pflegen der Landschaftsstrukturen (Hecken, Feld- und Ufergehölze, Einzelbäume, Baumgruppen, etc.)“ (Projektgruppe LQB & Regionaler Naturpark Diemtigtal, 2015, S. 12). In den Massnahmenblättern für Landschaftsqualitätsbeiträge (LQB) werden drei Massnahmen für Einzelbäume beschrieben: Erhalt und die Pflege standortgerechter Einzelbäume auf der Landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) und im Sömmerungsgebiet und Pflanzung einheimischer Laubbäume als Einzelbäume. Der Ahorn wird explizit als zu fördernder Baum ausgewiesen. Auf der LN erhalten Betriebe CHF 30.- pro Baum und Jahr (maximal CHF 6000.- pro Betrieb und Jahr), im Sömmerungsgebiet CHF 10.- bei maximal CHF 2000.- pro Betrieb und Jahr. Für die

Neupflanzung eines Baumes werden einmalig CHF 160.- ausbezahlt (Amt für Landwirtschaft und Natur des Kantons Bern, 2017). Es wird festgehalten, dass standortgerechte Einzelbäume ausser in der Vernetzung keine finanzielle Unterstützung erhalten und aus diesem Grund die Landschaftsqualitätsbeiträge Anreize für deren Schutz schaffen sollen. Auch bei dieser Massnahme ist es zentral, dass die Vorschriften für die Bewirtschaftung einen genügend grossen Mindestabstand bei der Düngung vorschreiben.

Neben dem Abstand um die Einzelbäume kann auch die Methode der Düngerausbringung verbessert werden. Mit emissionsmindernden Massnahmen wie Schleppschlauch, Schleppschuh und Gülledrill wird die mit Hofdüngern bedeckte Fläche verkleinert. So wird verhindert, dass die Stämme der Bäume mit Dünger besprüht werden. Dies senkt auch die Ammoniakverluste. Für den Einsatz emissionsmindernder Ausbringverfahren können Ressourceneffizienzbeiträge bezogen werden (Schoop & Fischler, 2017). Diese belaufen sich auf CHF 30.- pro Hektare und Gabe. Allerdings gilt es hier zu erwähnen, dass die Ausbringungsverfahren den lokalen Gegebenheiten im Diemtigtal angepasst sein müssen und aufgrund der Steilheit und kleinteiligen Strukturierung des Landes nicht immer die emissionsärmsten Methoden zum Einsatz kommen können.

Abschliessend kann zusammengefasst werden, dass die Applikation von Mist und Gülle auf Flechten an den Stämmen des Bergahorns zu Schäden führen kann. Der Bergahorn weist eine enorme Vielfalt an epiphytischen Flechten auf. Durch die Berücksichtigung angemessener Bewirtschaftungsabstände und dem Einsatz emissionsmindernder Ausbringverfahren kann die Beschädigung der Flechten verringert werden. So wird ein Betrag zum Erhalt der hohen Artenvielfalt der Flechten auf Bergahornweiden geleistet.

9 Literaturverzeichnis

- Amt für Landwirtschaft und Natur des Kantons Bern. (2017). Massnahmenblätter für Landschaftsqualitätsbeiträge (LQB) ab 2015. Abgerufen von https://www.vol.be.ch/vol/de/index/natur/naturfoerderung/lq.assetref/dam/documents/VOL/LA_NAT/de/Natur/Naturfoerderung/oeka/lqb/PUB_LANAT_NF_Massnahmenblaetter_dt.pdf
- ART, & ACW. (1997). *Schweizerische Referenzmethoden der Forschungsanstalt Agroscope* (Bd. Band 4: Düngeruntersuchungen). Changins Wädenswil, Reckenholz-Tänikon.
- Brown, D. H., & Tomlinson, H. (1993). Effects of nitrogen salts on lichen physiology. *Bibliotheca Lichenologica*, 53, 27–34.
- Caillet-Bois, D., Weiss, B., Benz, R., & Stäheli, B. (2016). Biodiversitätsförderung auf dem Landwirtschaftsbetrieb - Wegleitung. Agridea. Abgerufen von <http://www.agridea.ch/de/publikationen/publikationen/umwelt-natur-landschaft/beitraege-und-bedingungen-im-oekoausgleich/biodiversitaetsfoerderung-auf-dem-landwirtschaftsbetrieb-wegleitung/>
- Frati, L., Santoni, S., Nicolardi, V., Gaggi, C., Brunialti, G., Guttova, A., ... Loppi, S. (2007). Lichen biomonitoring of ammonia emission and nitrogen deposition around a pig stockfarm. *Environmental Pollution*, 146(2), 311–316. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.03.029>
- Gaio-Oliveira, G., Dahlman, L., Palmqvist, K., & Máguas, C. (2004). Ammonium uptake in the nitrophytic lichen *Xanthoria parietina* and its effects on vitality and balance between symbionts. *The Lichenologist*, 36(1), 75–86. <https://doi.org/10.1017/S0024282904014124>
- Galler, J. (2009). Wirtschaftsdünger: Anfall, Lagerung, Verwertung, Umwelt. Landwirtschaftskammer Salzburg. Abgerufen von https://www.infothek-biomasse.ch/images/205_2009_LK_Hofduenger_naehrstoffe_AUT.pdf
- Gosteli, S. (2016). *Nutzungsgeschichte von Bergahornweiden im Alpenraum* (Bachelorarbeit). ETH, Zürich. Abgerufen von <http://docplayer.org/41576561-Nutzungsgeschichte-von-bergahornweiden-im-alpenraum.html>
- Häne, K. (2009). Baum des Jahres 2009. Der Bergahorn. *Bündner Wald*, 62(5). Abgerufen von https://www.waldwissen.net/wald/baeume_waldpflanzen/laub/wsl_bergahorn/wsl_bergahorn_originalaritkel.pdf
- Hauck, M. (2010). Ammonium and nitrate tolerance in lichens. *Environmental Pollution*, 158(5), 1127–1133. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.12.036>
- Honegger, R. (1993). Developmental biology of lichens. *New Phytologist*, 125(4), 659–677. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1993.tb03916.x>
- Honegger, R. (1998). The lichen symbiosis - what is so spectacular about it? *The Lichenologist*, 30(3), 193–212. <https://doi.org/10.1006/lich.1998.0140>
- Johansson, O. (2011). *Epiphytic lichen responses to nitrogen deposition*. Umeå: Institutionen för ekologi, miljö och geovetenskap, Umeå universitet. Abgerufen von <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:umu:diva-43751 urn:nbn:se:umu:diva-43751>
- Jonsson Čabradič, A. V., Moen, J., & Palmqvist, K. (2010). Predicting growth of mat-forming lichens on a landscape scale - comparing models with different complexities. *Ecography*, 33(5), 949–

960. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.06079.x>
- Kauppi, M. (1980). *The influence of nitrogen-rich pollution components on lichens*. Oulu: Univ. of Oulu.
- Kiebacher, T., Bergamini, A., Scheidegger, C., & Bürgi, M. (2018). *Bergahornweiden im Alpenraum Kulturgeschichte, Biodiversität und Rudolphis Trompetenmoos*. Paul-Haupt-Verlag.
- Kiebacher, T., & Hofmann, H. (o. J.). Bergahornweg. Schwarzalp - Rosenlauri. UNESCO-Welterbe Schweizer Alpen Jungfrau-Aletsch. Abgerufen von https://www.jungfraualetsch.ch/wp-content/uploads/2015/12/1_BERGAHRONweg-A5web2.pdf
- Kiebacher, T., Keller, C., Scheidegger, C., & Bergamini, A. (2016). Hidden crown jewels: the role of tree crowns for bryophyte and lichen species richness in sycamore maple wooded pastures. *Biodiversity and Conservation*, 25(9), 1605–1624. <https://doi.org/10.1007/s10531-016-1144-4>
- Kiebacher, T., Scheidegger, C., & Bergamini, A. (2017). Solitary trees increase the diversity of vascular plants and bryophytes in pastures. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 239, 293–303. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.01.034>
- Küchli, C. (1987). *Auf den Eichen wachsen die besten Schinken: 10 intime Baumporträts*. Frauenfeld: Verl. Im Waldgut.
- Lerch, H. (2015). Bergahornlandschaft. Reizvolle Landschaft für Mensch und Tier. *Park-Info*, 17, 1. Abgerufen von http://www.diemtigtal.ch/media/archive1/Park-Info/2015/ParkInfo_17_Fruehling15_finale.pdf
- LWF. (2009). Beiträge zum Bergahorn. *LWF Wissen*, 62. Abgerufen von http://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/w62_bergahorn.pdf
- Machatschek, M. (2002). *Laubgeschichten: Gebrauchswissen einer alten Baumwirtschaft, Speise- und Futterlaubkultur*. Wien: Böhlau.
- Marbach, B., & Kainz, C. (2002). *Moose, Farne und Flechten: häufige und auffällige Arten erkennen und bestimmen*. München: blv.
- MeteoSchweiz. (2016). Klimanormwerte Adelboden. Abgerufen von http://www.meteoschweiz.admin.ch/product/output/climate-data/climate-diagrams-normal-values-station-processing/ABO/climsheet_ABO_np8110_d.pdf
- Munzi, S., Pisani, T., & Loppi, S. (2009). The integrity of lichen cell membrane as a suitable parameter for monitoring biological effects of acute nitrogen pollution. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72(7), 2009–2012. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2009.05.005>
- Nadkarni, N. M., & Matelson, T. J. (1991). Fine Litter Dynamics within the Tree Canopy of a Tropical Cloud Forest. *Ecology*, 72(6), 2071–2082. <https://doi.org/10.2307/1941560>
- Nash, T. H. (Hrsg.). (2008). *Lichen biology* (2nd ed). Cambridge ; New York: Cambridge University Press.
- Palmqvist, K., Dahlman, L., Jonsson, A., & Nash, T. H. (2008). The carbon economy of lichens. In T. H. Nash (Hrsg.), *Lichen Biology* (2. Aufl., S. 182–215). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511790478.011>
- Palmqvist, K., & Sundberg, B. (2000). Light use efficiency of dry matter gain in five macro-lichens: relative impact of microclimate conditions and species-specific traits. *Plant, Cell and Environment*, 23(1), 1–14. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2000.00529.x>

- Paoli, L., Pirintsos, S. A., Kotzabasis, K., Pisani, T., Navakoudis, E., & Loppi, S. (2010). Effects of ammonia from livestock farming on lichen photosynthesis. *Environmental Pollution*, 158(6), 2258–2265. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.02.008>
- Pinho, P., Augusto, S., Martins-Loução, M. A., Pereira, M. J., Soares, A., Máguas, C., & Branquinho, C. (2008). Causes of change in nitrophytic and oligotrophic lichen species in a Mediterranean climate: Impact of land cover and atmospheric pollutants. *Environmental Pollution*, 154(3), 380–389. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.11.028>
- Pinho, P., Bergamini, A., Carvalho, P., Branquinho, C., Stofer, S., Scheidegger, C., & Máguas, C. (2012). Lichen functional groups as ecological indicators of the effects of land-use in Mediterranean ecosystems. *Ecological Indicators*, 15(1), 36–42. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.09.022>
- Projektgruppe LQB, & Regionaler Naturpark Diemtigtal. (2015). Landschaftsqualität im Kanton Bern. Projektperimeter: Regionaler Naturpark Diemtigtal. Amt für Landwirtschaft und Natur.
- Rai, A. N., Bergman, B., & Rasmussen, U. (Hrsg.). (2002). *Cyanobacteria in Symbiosis*. Dordrecht: Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/0-306-48005-0>
- Scheidegger, C. (2002). *Rote Liste der gefährdeten Arten der Schweiz: Baum- und erdbewohnende Flechten*. Bern: BUWAL, WSL, CJBG. Abgerufen von <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biodiversitaet/publikationen-studien/publikationen/rote-liste-gefaehrdete-arten-baum-erdbewohnende-flechten.html>
- Schoop, J., & Fischler, M. (2017). Emissionsmindernde Ausbringverfahren. Agridea. Abgerufen von <https://www.agridea.ch/de/publikationen/publikationen/umwelt-natur-landschaft/ressourcenschutz-boden-wasser-luft/emissionsmindernde-ausbringverfahren/>
- Scott, G. D. (1960). Studies of the lichen symbiosis. I. The relationship between nutrition and moisture content in the maintenance of the symbiotic state. *New Phytologist*, 59(3), 374–381. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1960.tb06232.x>
- Stofer, S., Bergamini, A., Aragón, G., Carvalho, P., Coppins, B. J., Davey, S., ... Scheidegger, C. (2006). Species richness of lichen functional groups in relation to land use intensity. *The Lichenologist*, 38(04), 331–353. <https://doi.org/10.1017/S0024282906006207>
- swisstopo. (o. J.). Karten der Schweiz. Abgerufen von map.geo.admin.ch
- Universität Zürich. (2018). Methodenberatung. Abgerufen von <http://www.methodenberatung.uzh.ch/de.html>
- Van Dobben, H. F., & Ter Braak, C. J. F. (1998). Effects of atmospheric NH₃ on epiphytic lichens in the Netherlands. *Atmospheric Environment*, 32(3), 551–557. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(96\)00350-0](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(96)00350-0)
- van Herk, C. M. (1999). Mapping of Ammonia Pollution with Epiphytic Lichens in the Netherlands. *The Lichenologist*, 31(01), 9–20. <https://doi.org/10.1006/lich.1998.0138>
- van Herk, C. M. (2002). Epiphytes on Wayside Trees as an Indicator of Eutrophication in The Netherlands. In P. L. Nimis, C. Scheidegger, & P. A. Wolseley (Hrsg.), *Monitoring with Lichens — Monitoring Lichens* (S. 285–289). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0423-7_21
- Van Herk, K. (2001). Bark pH and susceptibility to toxic air pollutants as independent causes of change in epiphytic lichen composition in space and time. *Lichenologist*, 33, 419–441.

- Vanderpoorten, A., Engels, P., & Sotiaux, A. (2004). Trends in Diversity and Abundance of Obligate Epiphytic Bryophytes in a Highly Managed Landscape. *Ecography*, 27(5), 567–576. Abgerufen von <http://www.jstor.org/stable/3683459>
- Welch, A. R., Gillman, M. P., & John, E. A. (2006). Effect of nutrient application on growth rate and competitive ability of three foliose lichen species. *The Lichenologist*, 38(02), 177. <https://doi.org/10.1017/S0024282906004555>
- Wirth, V. (1987). *Die Flechten Baden-Württembergs: Verbreitungsatlas*. Stuttgart: E. Ulmer.
- Wirth, V., Hauck, M., & Schultz, M. (2013). *Die Flechten Deutschlands*. Stuttgart: Ulmer.
- Wolseley, P. A., Stofer, S., Mitchell, R., Truscott, A.-M., Vanbergen, A., Chimonides, J., & Scheidegger, C. (2006). Variation of lichen communities with landuse in Aberdeenshire, UK. *The Lichenologist*, 38(04), 307–322. <https://doi.org/10.1017/S0024282906006190>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bei der Erstbegehung aufgefundenener Mistpartikel am Stamm eines Bergahornes ...	11
Abbildung 2: Bäume auf Kartiereinheit 30 (Quelle: UNA, swisstopo)	15
Abbildung 3: Bäume auf Kartiereinheit 32 (Quelle: UNA, swisstopo)	15
Abbildung 4: Bäume auf Kartiereinheit 33 (Quelle: UNA, swisstopo)	16
Abbildung 5: Bäume auf Kartiereinheit 35 (Quelle: UNA, swisstopo)	16
Abbildung 6: <i>Evernia prunastri</i>	17
Abbildung 7: <i>Leptogium saturninum</i>	17
Abbildung 8: <i>Lobaria pulmonaria</i>	18
Abbildung 9: <i>Parmelia sulcata</i>	18
Abbildung 10: <i>Peltigera praetextata</i>	18
Abbildung 11: <i>Pertusaria albescens</i>	19
Abbildung 12: <i>Ramalina fraxinea</i>	19
Abbildung 13: zur Behandlung der Flechten verwendetes Material (Pipette, Stoff, Handschuhe), Nadeln zur Markierung, Sprühflasche zur Befeuchtung, Schnur und Klebeband zur Markierung der Bäume, Massband zur Messung der Höhe	22
Abbildung 14: Behandelter Baum – Reihenfolge der Behandlung: Gülle, Mist, Befeuchtung, Chemismus Mist, Beschattung, Kontrolle und Chemismus Gülle	23
Abbildung 15: vereistes Exemplar von <i>P. praetextata</i>	26
Abbildung 16: Baum 19, <i>P. sulcata</i> , behandelt mit Gülle	29
Abbildung 17: Baum 5, <i>R. fraxinea</i> , behandelt mit Gülle	30
Abbildung 18: Baum 1, <i>E. prunastri</i> , behandelt mit Gülleextrakt (C1)	31
Abbildung 19: Baum 18, <i>P. sulcata</i> , behandelt mit Gülleextrakt (C1)	32
Abbildung 20: Baum 1, <i>P. sulcata</i> , behandelt mit Gülleextrakt (C1)	33
Abbildung 21: Baum 1, <i>P. sulcata</i> , behandelt mit Mist	34
Abbildung 22: Baum 10, <i>P. sulcata</i> , behandelt mit Mist	35

Abbildung 23: Baum 2, <i>E. prunastri</i> , behandelt mit Mist	36
Abbildung 24: Baum 21, <i>L. pulmonaria</i> , behandelt mit Mist.....	37
Abbildung 25: Baum 19, <i>P. sulcata</i> , behandelt mit Mistextrakt (C2)	38
Abbildung 26: Baum 5, <i>R. fraxinea</i> , behandelt mit Beschattung (S)	39
Abbildung 27: Baum 10, <i>P. sulcata</i> , behandelt mit Beschattung (S).....	40
Abbildung 28: Baum 5, <i>R. fraxinea</i> , behandelt mit Befeuchtung und Beschattung (SW)	41
Abbildung 29: Baum 6, <i>P. sulcata</i> , behandelt mit Befeuchtung und Beschattung (SW).....	42
Abbildung 30: Baum 20, <i>L. saturninum</i> , behandelt mit Mist.....	43
Abbildung 31: Baum 12, <i>P. praetextata</i> , behandelt mit Mist	44
Abbildung 32: durchschnittliche Veränderung nach Art (<i>E. prunastri</i> , <i>L. saturninum</i> , <i>L. pulmonaria</i> , <i>P. sulcata</i> , <i>P. praetextata</i> , <i>P. albescens</i> , <i>R. fraxinea</i>).....	47
Abbildung 33: durchschnittliche Veränderung von <i>P. sulcata</i> und <i>E. prunastri</i> nach Behandlung (Kontrolle, Gülle, Mist, Chemismus von Gülle (C1), Chemismus von Mist (C2), Beschattung (S), Beschattung und Befeuchtung (SW) und Total).....	48
Abbildung 34: durchschnittliche Veränderung nach Art (<i>P. sulcata</i> , <i>E. prunastri</i>) und Behandlung (Kontrolle, Gülle, Mist, Chemismus von Gülle (C1), Chemismus von Mist (C2), Beschattung (S), Beschattung und Befeuchtung (SW) und Total).....	49

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anzahl behandelter Individuen pro Flechtenart.....	21
Tabelle 3: Teststatistik und p -Werte des Dunn-Bonferroni-Tests für den Unterschied der Veränderung zwischen der Kontrolle und den Behandlungen Gülle, Chemismus von Gülle (C1), Mist, Chemismus von Mist (C2), Beschattung (S) und Beschattung und Befeuchtung (SW) für <i>P. sulcata</i> , <i>E. prunastri</i>	50
Tabelle 4: Teststatistik und p -Werte des Dunn-Bonferroni-Tests für den Unterschied der Veränderung zwischen den Arten <i>R. fraxinea</i> , <i>E. prunastri</i> und <i>P. sulcata</i>	51
Tabelle 5: p -Werte des Dunn-Bonferroni-Tests für den Unterschied der Veränderung zwischen der Kontrolle und den Behandlungen Gülle, Chemismus von Gülle (C1), Mist, Chemismus von Mist (C2), Beschattung (S) und Beschattung und Befeuchtung (SW) für <i>P. sulcata</i> , <i>E. prunastri</i> und <i>R. fraxinea</i>	51

Anhang

A	Prüfbericht Gülleanalyse.....	V
B	Prüfbericht Mistanalyse.....	VII
C	Behandlungsschema	IX
D	Ausgefüllte und bereinigte Tabelle mit Beobachtungsdaten.....	XI
E	Datentabelle und Syntax der statistischen Auswertung.....	XVI
E.1.	Datentabelle	XVI
E.2.	Syntax	XXII

A Prüfbericht Gülleanalyse



Thun, 23.01.2018



Frau Corinne Obrist
Haufrose 4
8055 Zürich

Prüfbericht

Auftrag: 083851 Probenart: ChemRRV
Probenentnahme durch Kunden: 11.9.2017 Probennummer lbu: 08385101
Probeneingang im Labor: 09.01.2018 Analysenpaket: B60B flüssige org. Dünger
Prüfzeitraum: 09.01.2018 bis 23.01.2018
Probenbezeichnung Kunde: Gülle Zwischenflüh

Ergebnisse

Parameter	Ergebnis	Grenzwerte	Einheit	Methode
		ChemRRV		
Trockensubstanz TS 105°C	1.0		%	D-TS-lbu
Glührückstand 500°C	77.2		%	D-AS-lbu
Glühverlust 500°C (OS)	22.8		%	D-AS-lbu
Kohlenstoff Corg	132.2		g/kg TS	D-AS-lbu
pH-Wert	7.89			pH-orgDüngerflüssig-lbu
Gesamt-N nach Kjeldahl	58.2		g/kg TS	NKjeldahl-Büchi-lbu
Ammoniumstickstoff N-NH4	44.1		g/kg TS	N-NH4-Büchi-lbu
C/N-Verhältnis	2.27			Berechnung
Phosphor P	1.60		kg/t TS	AD-KW-ICP-lbu
Phosphorpentoxid P2O5	3.66		kg/t TS	Berechnung
Kalium K	307		kg/t TS	AD-KW-ICP-lbu
Kaliumdioxid K2O	370.24		kg/t TS	Berechnung
Calcium Ca	7.49		kg/t TS	AD-KW-ICP-lbu
Magnesium Mg	14.2		kg/t TS	AD-KW-ICP-lbu
Schwefel S	3.72		kg/t TS	AD-KW-ICP-lbu

< X Werte zeigen Resultate an welche unterhalb der Bestimmungsgrenze gemäss DIN 32 645 liegen.

n.n. Resultate liegen unterhalb der Nachweisgrenze gemäss DIN 32 645.

* Analyse nicht im Geltungsbereich der Akkreditierung ISO17025.

ChemRRV Grenzwerte ab einem Anteil von mehr als 50 % Exkrementen von Schweinen bezogen auf die Trockensubstanz.

Kupfer (Cu) 150 g/t TS ; Zink (Zn) 600 g/t TS

Labor für Boden- und Umweltanalytik der Eric Schweizer AG

Bericht erstellt: Freigabe:

Ursula Trachsel
Sachbearbeiterin

Reto Riesen
Leiter Labor

Labor für Boden- und Umweltanalytik

Eric Schweizer AG, Postfach 150, CH-3602 Thun, Tel. 033 227 57 31, Fax 033 227 57 39, E-mail info@lbu.ch, www.lbu.ch

Standort: Maientstrasse 8, CH-3613 Steffisburg

Dok. Nr.: D-30191

Seite 1 bis 2



Thun, 23.01.2018

Umrechnung der Prüfergebnisse in andere Mengeneinheiten

Auftrag:	083851	Probenart:	ChemRRV
Probenentnahme durch Kunden:	11.9.2017	Probennummer lbu:	08385101
Probeneingang im Labor:	09.01.2018	Analysenpaket:	B60B flüssige org. Dünger
Prüfzeitraum:	09.01.2018 bis 23.01.2018		
Probenbezeichnung Kunde:	Gülle Zwischenflüh		

Nährstoffe

Parameter		Ergebnis kg/t TS	Berechnet kg/t FS	Berechnet kg/m3 FS	Berechnet kg/30m3 FS
Gesamt-N nach Kjeldahl		58.2	0.60	0.60	17.85
Ammoniumstickstoff	N-NH4	44.1	-	-	-
Phosphorpentoxid	P2O5	3.66	0.04	0.04	1.12
Kaliumdioxid	K2O	370.24	3.79	3.79	113.65
Calcium	Ca	7.49	0.08	0.08	2.30
Magnesium	Mg	14.2	0.15	0.15	4.37
Schwefel	S	3.72	0.04	0.04	1.14

Labor für Boden- und Umweltanalytik
Eric Schweizer AG, Postfach 150, CH-3602 Thun, Tel. 033 227 57 31, Fax 033 227 57 39, E-mail info@lbu.ch, www.lbu.ch
Standort: Malenstrasse 8, CH-3613 Steffisburg

Dok. Nr.: D-30191

Seite 2 bis 2

B Prüfbericht Mistanalyse



Thun, 23.01.2018



Frau Corinne Obrist
Haufrosee 4
8055 Zürich

Prüfbericht

Auftrag:	083852	Probenart:	ChemRRV
Probenentnahme durch Kunden:	11.9.2017	Probennummer lbu:	08385201
Probeneingang im Labor:	09.01.2018	Analysenpaket:	B61 Nährstoffanalyse für org. Dünger
Prüfzeitraum:	09.01.2018 bis 23.01.2018		
Probenbezeichnung Kunde:	Mist Zwischenflüh		

Ergebnisse

Parameter	Ergebnis	Grenzwerte		Einheit	Methode
		ChemRRV			
Trockensubstanz TS 105°C	18.3			%	D-TS-lbu
Glührückstand 500°C	23.9			%	D-AS-lbu
Glührückstand 500°C (OS)	76.1			%	D-AS-lbu
Kohlenstoff Corg	440.9			g/kg TS	D-AS-lbu
pH-Wert	7.74				pH-orgDüngerflüssig-lbu
Spezifisches Gewicht *	0.73			kg/l	D-VG-lbu
Gesamt-N nach Kjeldahl	28.4			g/kg TS	NKjeldahl-Büchi-lbu
Ammoniumstickstoff N-NH4	3.00			g/kg TS	N-NH4-Büchi-lbu
C/N-Verhältnis	15.55				Berechnung
Phosphor P	4.47			kg/t TS	AD-KW-ICP-lbu
Phosphorpentoxid P2O5	10.23			kg/t TS	Berechnung
Kalium K	16.1			kg/t TS	AD-KW-ICP-lbu
Kaliumdioxid K2O	19.42			kg/t TS	Berechnung
Calcium Ca	26.6			kg/t TS	AD-KW-ICP-lbu
Magnesium Mg	5.68			kg/t TS	AD-KW-ICP-lbu
Schwefel S	4.06			kg/t TS	AD-KW-ICP-lbu

< X Werte zeigen Resultate an welche unterhalb der Bestimmungsgrenze gemäss DIN 32 645 liegen.

n.n. Resultate liegen unterhalb der Nachweisgrenze gemäss DIN 32 645.

* Analyse nicht im Geltungsbereich der Akkreditierung ISO17025.

ChemRRV Grenzwerte ab einem Anteil von mehr als 50 % Exkrementen von Schweinen bezogen auf die Trockensubstanz.

Kupfer (Cu) 150 g/t TS ; Zink (Zn) 600 g/t TS

Labor für Boden- und Umweltanalytik der Eric Schweizer AG

Bericht erstellt: Freigabe:

Ursula Trachsel
Sachbearbeiterin

Reto Riesen
Leiter Labor

Labor für Boden- und Umweltanalytik

Eric Schweizer AG, Postfach 150, CH-3602 Thun, Tel. 033 227 57 31, Fax 033 227 57 39, E-mail info@lbu.ch, www.lbu.ch

Standort: Maienstrasse 8, CH-3613 Steffisburg

Dok. Nr.: D-30193

Seite 1 bis 2



Thun, 23.01.2018

Umrechnung der Prüfergebnisse in andere Mengeneinheiten

Auftrag:	083852	Probenart:	ChemRRV
Probenentnahme durch Kunden:	11.9.2017	Probennummer lbu:	08385201
Probeneingang im Labor:	09.01.2018	Analysenpaket:	B61 Nährstoffanalyse für org. Dünger
Prüfzeitraum:	09.01.2018 bis 23.01.2018		
Probenbezeichnung Kunde:	Mist Zwischenflüh		

Nährstoffe

Parameter		Ergebnis kg/t TS	Berechnet kg/t FS	Berechnet kg/m3 FS	Berechnet kg/30m3 FS
Gesamt-N nach Kjeldahl		28.4	5.18	3.79	113.71
Phosphorpentoxid	P2O5	10.23	1.87	1.37	41.03
Kaliumdioxid	K2O	19.42	3.55	2.60	77.89
Calcium	Ca	26.6	4.87	3.56	106.77
Magnesium	Mg	5.68	1.04	0.76	22.79
Schwefel	S	4.06	0.74	0.54	16.28

Labor für Boden- und Umweltanalytik
Eric Schweizer AG, Postfach 150, CH-3602 Thun, Tel. 033 227 57 31, Fax 033 227 57 39, E-mail info@lbu.ch, www.lbu.ch
Standort: Malenstrasse 8, CH-3613 Steffisburg

Dok. Nr.: D-30193

Seite 2 bis 2

C Behandlungsschema

Fläche	Baum	Flechte	1	2	3	4	5	6	7
35	1	Parmelia	S	Gülle	WS	Mist	Kontrolle	C2	C1
35	1	Ramalina	WS	C1	C2	S	Kontrolle	Mist	Gülle
35	2	Parmelia	WS	S	C1	C2	Mist	Kontrolle	Gülle
35	2	Peltigera	WS	C1	C2	S	Mist	Gülle	Kontrolle
35	2	Ramalina	C2	S	Mist	C1	WS	Gülle	Kontrolle
35	3	Leptogium	Mist	C2	WS	S	C1	Kontrolle	Gülle
35	3	Peltigera	Gülle	C2	S	Kontrolle	WS	Mist	C1
35	4	Peltigera	C1	Kontrolle	C2	Mist	S	WS	Gülle
35	5	Peltigera	C1	C2	Kontrolle	Mist	Gülle	S	WS
35	5	Ramalina	S	Gülle	Kontrolle	C2	C1	WS	Mist
35	6	Parmelia	S	WS	Gülle	C2	C1	Mist	Kontrolle
35	6	Peltigera	S	WS	Gülle	Mist	C2	Kontrolle	C1
35	6	Ramalina	Mist	C2	C1	WS	Kontrolle	Gülle	S
35	7	Leptogium	C1	C2	WS	Gülle	Mist	S	Kontrolle
35	7	Parmelia	Gülle	Kontrolle	C2	S	C1	WS	Mist
35	7	Peltigera	Mist	C2	WS	C1	S	Kontrolle	Gülle
35	7	Ramalina	C2	S	Kontrolle	WS	Mist	Gülle	C1
32	8	Leptogium	Mist	Gülle	Kontrolle	WS	C1	S	C2
32	8	Peltigera	C2	C1	Kontrolle	S	WS	Gülle	Mist
32	9	Parmelia	Gülle	C2	WS	S	Kontrolle	C1	Mist
32	9	Peltigera	Kontrolle	Gülle	C2	Mist	S	WS	C1
32	10	Parmelia	C2	Gülle	Kontrolle	WS	Mist	S	C1

32	10	Peltigera	C1	Kontrolle	Mist	C2	S	WS	Gülle
32	11	Leptogium	WS	S	Kontrolle	C2	Gülle	C1	Mist
32	11	Peltigera	WS	Gülle	S	Kontrolle	Mist	C1	C2
33	12	Leptogium	WS	Gülle	C2	C1	Kontrolle	S	Mist
33	12	Peltigera	Kontrolle	Mist	C1	WS	S	C2	Gülle
33	14	Leptogium	C1	Kontrolle	C2	S	Mist	Gülle	WS
33	14	Peltigera	C2	WS	Kontrolle	C1	Gülle	Mist	S
33	14	Pertusaria	Gülle	C2	S	Mist	C1	Kontrolle	WS
33	15	Parmelia	Gülle	Mist	WS	C2	S	Kontrolle	C1
30	16	Leptogium	Mist	S	C1	C2	Gülle	Kontrolle	WS
30	16	Peltigera	Kontrolle	S	WS	C1	Mist	Gülle	C2
30	17	Leptogium	Kontrolle	Gülle	C1	WS	C2	Mist	S
30	17	Peltigera	Gülle	Kontrolle	C2	C1	S	WS	Mist
30	18	Parmelia	WS	Kontrolle	S	Gülle	Mist	C2	C1
30	18	Peltigera	C2	S	WS	Gülle	Mist	Kontrolle	C1
30	18	Evernia	S	Gülle	WS	Mist	Kontrolle	C1	C2
30	19	Leptogium	C1	Mist	WS	S	Gülle	Kontrolle	C2
30	19	Parmelia	S	C1	C2	Mist	Gülle	Kontrolle	WS
30	19	Peltigera	Mist	Kontrolle	C1	Gülle	C2	WS	S
30	20	Leptogium	C2	C1	Gülle	S	Mist	Kontrolle	WS
30	20	Parmelia	Kontrolle	C2	C1	Gülle	S	Mist	WS
30	20	Peltigera	Kontrolle	Gülle	C1	S	C2	Mist	WS
30	21	Lobaria	S	SW	Kontrolle	Mist	Gülle	C1	C2

D Ausgefüllte und bereinigte Tabelle mit Beobachtungsdaten

Fläche	Baum	Flechte	Höhe cm	Exposition	Azimet	Beurteilung							Zeitpunkt	Bemerkung
35	1	Parmelia	105	240-350	-2	C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
						-	-	-	-	-	-	-		Vor Behandlung
						rote Verfärbung auf Flyctis, lokal	-	-	-	(-)	(-)	(-)	2 Wochen	
						rote Verfärbung auf Flyctis, lokal	-	-	-	braune Verfärbung, Nekrosen, lokal	-	-	1.5 Monate	
35	1	Evernia	112-170	C2 & S: 145, W & C1: 180, Rest: 90	+/-1	rote Verfärbung auf Flyctis, schwächer, lokal	-	-	-	braune Verfärbung, Nekrosen, lokal	-	-	3 Monate	
						C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
						-	-	-	-	-	-	-		Vor Behandlung
						braune Verfärbung, nicht lokal	-	-	-	(-)	(-)	(-)	2 Wochen	
35	1	Evernia	112-170	C2 & S: 145, W & C1: 180, Rest: 90	+/-1	braune Verfärbung, nicht lokal	-	-	-	braune Verfärbung, Teil von Flechte mit Mist gelöst	-	-	1.5 Monate	
						braune Verfärbung, nicht lokal	-	-	-	braune Verfärbung, Teil von Flechte mit Mist gelöst	-	-	3 Monate	
						C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
						-	-	-	-	-	-	-		Vor Behandlung
35	2	Parmelia	123	177-280	-10	-	-	rote Verfärbung	-	(-)	Stoff fehlt, -	(-)	2 Wochen	
						-	-	rote Verfärbung	-	Mist noch dran	-	-	1.5 Monate	
						-	-	rote Verfärbung, schwächer	-	Mist noch dran	-	-	3 Monate	
						C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
35	2	Peltigera	35-50	308-4	-5	-	-	-	-	-	-	-		Vor Behandlung
						-	-	Nadel fehlt	kleiner Riss & Löcher	Mist fehlt, Flechte -	(-)	(-)	2 Wochen	
						(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	1.5 Monate	alle Nadeln fehlen
						(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	3 Monate	
35	2	Evernia	110-130	24-40	-10	C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
						-	-	-	-	-	-	-		Vor Behandlung
						-	-	-	-	(-)	(-)	Stoff fehlt, -	2 Wochen	
						-	-	-	-	braune Verfärbung, Teil von Flechte mit Mist gelöst	-	-	1.5 Monate	
35	2	Evernia	110-130	24-40	-10	-	-	-	-	braune Verfärbung, Teil von Flechte mit Mist gelöst	-	-	3 Monate	
						C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
						-	-	-	-	-	-	-		Vor Behandlung
						-	-	-	-	(-)	(-)	Stoff fehlt, -	2 Wochen	
35	3	Leptogium & Peltigera gemischt	40	80-147	K & G: -12, Rest: -45	-	-	heller Fleck	Risse	Mist fehlt, Risse	(-)	(-)	2 Wochen	
						(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	1.5 Monate	alle Nadeln fehlen
						(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	3 Monate	
						C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
35	3	Peltigera	20-30	G & WS: 260, Rest: 290-350	S: 9, Rest: 12	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)		Vor Behandlung
						(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	2 Wochen	
						(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	1.5 Monate	
						(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	3 Monate	
35	4	Peltigera	G & WS: 30, Rest: 14	G & WS: 242; Rest: 297	G & WS: - 15, Rest: - 10	C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
						-	-	-	-	-	-	-		Vor Behandlung
						-	-	-	-	braune Verfärbung	(-)	(-)	2 Wochen	
						-	-	-	-	braune Verfärbung	-	-	1.5 Monate	
35	4	Peltigera	G & WS: 30, Rest: 14	G & WS: 242; Rest: 297	G & WS: - 15, Rest: - 10	-	-	-	-	vereist	-	-	3 Monate	vereist

Fläche	Baum	Flechte	Höhe cm	Exposition	Azimet	Beurteilung							Zeitpunkt	Bemerkung
						C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
35	5	Peltigera	20-50	214-250	12	-	-	-	-	-	-	-	Vor Behandlung	
						-	-	-	-	(-)	(-)	(-)	2 Wochen	
						-	-	-	-	braune Verfärbung	-	-	Nadel fehlte	1.5 Monate
						vereist	vereist	vereist	-	vereist	vereist	-	3 Monate	
35	5	Ramalina	60-80	43-53	-12	C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
						-	-	-	-	-	-	-	Vor Behandlung	
						rote Verfärbung, nicht lokal	-	rote Verfärbung, nicht lokal	-	(-)	(-)	(-)	2 Wochen	
						rote Verfärbung, nicht lokal	-	rote Verfärbung, nicht lokal	-	rote Verfärbung, lokal	braune Verfärbung, lokal	rote Verfärbung, lokal	1.5 Monate	
35	6	Parmelia	150	147-240	0	rote Verfärbung, nicht lokal	-	rote Verfärbung, nicht lokal	-	rote Verfärbung, lokal	braune Verfärbung, lokal	rote Verfärbung, lokal	3 Monate	
						C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
						-	-	-	-	-	-	-	Vor Behandlung	
						-	-	-	-	(-)	(-)	(-)	2 Wochen	
35	6	Peltigera	30	200-250	5	-	-	-	-	braune Verfärbung, lokal	-	rote Verfärbung, lokal	1.5 Monate	
						-	-	-	-	braune Verfärbung, lokal	fehlt	rote Verfärbung, schwächer, lokal	3 Monate	
						-	-	-	-	(-)	(-)	(-)	2 Wochen	
						-	-	-	-	braune Verfärbung	-	-	1.5 Monate	
35	6	Evernia	105-130	340-30	W & C1: -5, Rest: 0	-	-	-	-	-	-	-	3 Monate	teilweise vereist
						C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
						-	-	-	-	-	-	-	Vor Behandlung	
						-	-	-	-	(-)	(-)	(-)	2 Wochen	
35	7	Leptogium	40-70	200-250	C1, C2, W: 15, Rest: 0	-	-	-	-	braune Verfärbung, lokal	-	braune Verfärbung, lokal	1.5 Monate	
						-	-	-	-	Flechte fehlt	-	braune Verfärbung, lokal	3 Monate	
						C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
						-	-	-	-	-	-	-	Vor Behandlung	
35	7	Parmelia	140-152	120-150	0	-	-	-	-	(-)	(-)	(-)	2 Wochen	
						-	-	rote Verfärbung	-	braune Verfärbung, Nekrosen, lokal	-	-	1.5 Monate	
						-	-	rote Verfärbung, schwächer	-	braune Verfärbung, Nekrosen, lokal	-	-	3 Monate	
						-	-	-	-	braune Verfärbung, Nekrosen, lokal	-	-		
35	7	Peltigera	20	310	-50	C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
						-	-	-	-	-	-	-	Vor Behandlung	
						-	-	-	-	(-)	(-)	(-)	2 Wochen	
						-	-	-	-	-	-	-	Teil von Flechte rot- grün	1.5 Monate
35	7	Evernia	154-167	80-150	0	vereist	vereist	vereist	vereist	vereist	vereist	vereist	3 Monate	
						C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
						-	-	-	-	-	-	-	Vor Behandlung	
						-	-	braune Verfärbung, nicht lokal	-	(-)	(-)	(-)	2 Wochen	
35	7	Evernia	154-167	80-150	0	-	-	braune Verfärbung, nicht lokal	-	braune Verfärbung, Teil von Flechte mit Mist gelöst	-	-	1.5 Monate	
						-	-	braune Verfärbung, nicht lokal	-	braune Verfärbung, Teil von Flechte mit Mist gelöst	-	-	3 Monate	

Fläche	Baum	Flechte	Höhe cm	Exposition	Azimut	Beurteilung							Zeitpunkt	Bemerkung
						C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
32	8	Leptogium	20-38	42	15	-	-	-	-	-	-	-	Vor Behandlung	
						-	-	-	-	(-)	(-)	(-)	2 Wochen	
						-	-	-	-	-	-	-	1.5 Monate	
						-	-	-	vereist	-	-	vereist	3 Monate	
32	8	Peltigera	20-30	302	7	C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
						-	-	-	-	-	-	-	Vor Behandlung	
						-	-	-	-	(-)	(-)	(-)	2 Wochen	
						-	-	-	-	-	-	-	1.5 Monate	
32	9	Parmelia	120	M, K & C1: 30, Rest: 330	0-(-5)	-	-	-	-	-	-	-	3 Monate	
						-	-	-	-	-	-	-	Nekrosen	Vor Behandlung
						-	-	-	-	(-)	(-)	(-)	2 Wochen	
						-	-	-	-	braune Verfärbung, Nekrosen, lokal	-	von Wegnehme n von Stoff beschädigt	1.5 Monate	
32	9	Peltigera	70	310	-30	-	-	-	-	-	-	-	3 Monate	
						-	-	-	-	braune Verfärbung, Nekrosen, lokal	-	von Wegnehme n von Stoff beschädigt	3 Monate	
						-	-	-	-	-	-	-	Nekrosen	Vor Behandlung
						-	-	-	-	(-)	(-)	(-)	2 Wochen	
32	10	Parmelia	140-175	290	-7	-	-	-	-	-	-	-	1.5 Monate	
						-	-	-	-	braune Verfärbung, lokal	rote Verfärbung, lokal	-	3 Monate	
						-	-	-	-	braune Verfärbung, schwächer, lokal	rote Verfärbung, schwächer, lokal	-	3 Monate	
						-	-	-	-	-	-	-	3 Monate	
32	10	Peltigera	30	88	K: 7, C1, C2 & M: -5, S & G: -25	C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
						-	-	-	-	-	-	-	Vor Behandlung	
						-	-	-	-	(-)	(-)	-	2 Wochen	
						-	-	-	-	-	-	-	1.5 Monate	
32	11	Peltigera	120-145	250	0	-	-	-	-	-	-	-	3 Monate	leicht vereist
						-	-	-	-	-	-	-	Vor Behandlung	
						-	-	-	-	(-)	(-)	(-)	2 Wochen	
						-	-	-	-	-	-	-	1.5 Monate	
32	11	Peltigera	60	18	10-20	-	-	-	-	-	-	-	3 Monate	vereist
						-	-	-	-	-	-	-	Vor Behandlung	
						-	-	-	-	(-)	(-)	(-)	2 Wochen	
						-	-	-	-	-	-	rote Flecken, heller Rand	1.5 Monate	
33	12	Leptogium	20	290	-25	-	-	-	-	-	-	-	3 Monate	vereist
						-	-	-	-	-	-	-	Vor Behandlung	
						-	-	-	-	(-)	(-)	(-)	2 Wochen	
						-	-	-	-	-	-	Nadel fehlt, -	1.5 Monate	
33	12	Peltigera	30	60	5	-	-	-	-	-	-	-	3 Monate	vereist
						-	-	-	-	-	-	-	Vor Behandlung	
						-	-	-	-	(-)	Nadel fehlt, (-)	(-)	2 Wochen	
						-	Nadel fehlt -	-	-	-	-	-	1.5 Monate	
33	14	Leptogium	85	357	-56	-	-	-	-	-	-	-	3 Monate	vereist
						-	-	-	-	-	-	-	Vor Behandlung	
						-	-	-	-	(-)	(-)	(-)	2 Wochen	
						-	-	-	-	Reste von Mist	-	Reste von Stoff, -	1.5 Monate	

Fläche	Baum	Flechte	Höhe cm	Exposition	Azimet	Beurteilung							Zeitpunkt	Bemerkung
						C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
33	14	Peltigera	95	326	-40	-	-	-	-	-	-	-	Vor Behandlung	
						-	-	-	-	(-)	(-)	(-)	2 Wochen	
						-	-	-	-	-	-	-	1.5 Monate	
						vereist	-	-	-	-	-	vereist	3 Monate	vereist
33	14	Pertusaria	110	14-46	-10-12	C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
						-	-	-	-	-	-	-	Vor Behandlung	
						-	-	-	-	(-)	(-)	(-)	2 Wochen	
						-	-	-	-	braune Verfärbung	-	-	1.5 Monate	
33	15	Parmelia	120	22-57	-2	-	-	-	-	braune Verfärbung	-	-	3 Monate	
						-	-	-	-	braune Verfärbung, Nekrosen, lokal	-	-	rote Verfärbung, schwächer, lokal	
						-	-	-	-	rote Verfärbung	-	-	2 Wochen	
						rote Verfärbung	-	rote Verfärbung	-	(-)	(-)	(-)	1.5 Monate	
30	16	Leptogium	30	47	-20	C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
						-	-	-	-	-	-	-	Vor Behandlung	
						-	-	-	-	(-)	(-)	(-)	2 Wochen	
						-	-	-	-	Mist fehlt, -	-	-	1.5 Monate	
30	16	Peltigera	16	47	-15	vereist	vereist	vereist	vereist	vereist	vereist	vereist	3 Monate	
						C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
						-	-	-	-	-	-	-	Vor Behandlung	
						-	-	-	-	Mist fehlt, Flechte -	(-)	(-)	2 Wochen	
30	17	Leptogium	42-55	305	-20	-	-	-	-	braun verfärbt	-	-	1.5 Monate	
						-	-	-	vereist	vereist	-	vereist	3 Monate	vereist
						C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
						-	-	-	-	-	-	-	Vor Behandlung	
30	17	Peltigera	60	350	-10	-	-	-	-	Mist fehlt, -	(-)	(-)	2 Wochen	
						-	-	-	-	braune Verfärbung	-	-	1.5 Monate	
						-	-	-	-	braune Verfärbung	-	-	3 Monate	
						vereist	vereist	vereist	vereist	vereist	vereist	vereist	3 Monate	
30	18	Parmelia	140	150-220	-4	C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
						-	-	-	-	-	-	-	Vor Behandlung	
						rote Verfärbung, lokal	-	-	-	(-)	(-)	(-)	2 Wochen	
						rote Verfärbung, schwächer werdend	-	-	-	braune Verfärbung, Nekrosen, lokal	-	rote Verfärbung, lokal	1.5 Monate	
30	18	Peltigera	40-70	350	W, S, G, C1: -4, C2, M: - 20	-	-	-	-	-	-	-	Vor Behandlung	
						-	-	-	-	(-)	(-)	(-)	2 Wochen	
						-	-	-	-	-	-	-	1.5 Monate	
						-	-	-	-	-	-	-	3 Monate	
30	18	Evernia	170	230-330	-2	C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
						-	-	-	-	-	-	-	Vor Behandlung	
						-	-	braune Verfärbung, nicht lokal	Spuren von Mist	braune Verfärbung, lokal	(-)	(-)	2 Wochen	
						-	-	braune Verfärbung, nicht lokal	Spuren von Mist	braune Verfärbung, lokal	-	-	1.5 Monate	
30	18	Evernia	170	230-330	-2	-	-	braune Verfärbung, nicht lokal	Spuren von Mist	braune Verfärbung, schwächer, lokal	-	-	3 Monate	

Fläche	Baum	Flechte	Höhe cm	Exposition	Azimet	Beurteilung							Zeitpunkt	Bemerkung
						C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
30	19	Leptogium	30	34	-5-10	-	-	-	-	-	-	-		Vor Behandlung
						-	-	-	-	Mist fehlt, -	(-)	(-)	2 Wochen	
						-	-	-	-	-	-	-	1.5 Monate	
						-	-	-	-	-	-	-	3 Monate	
30	19	Parmelia	110-140	160	-5-10	C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
						-	-	-	-	-	-	-		Vor Behandlung
						-	-	rote Verfärbung, lokal	-	(-)	Stoff fehlt, -	Rinde weggefallen	2 Wochen	
						-	-	rote Verfärbung, lokal	-	-	-	Rinde weggefallen	1.5 Monate	
30	19	Peltigera	20	100	-20-30	-	-	rote Verfärbung	-	-	-	Rinde weggefallen	3 Monate	
						C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
						-	-	-	-	-	-	-		Vor Behandlung
						-	-	-	-	(-)	(-)	(-)	2 Wochen	
30	20	Leptogium	60-85	220	-20-35	-	-	-	-	Mist fehlt	-	-	1.5 Monate	-
						-	-	-	-	-	-	-	3 Monate	vereist
						C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
						-	-	-	-	-	-	-		Vor Behandlung
30	20	Parmelia	120-140	220	-18	-	-	-	-	Mist fehlt, Flechte -	(-)	(-)	2 Wochen	
						-	-	-	-	-	-	-	1.5 Monate	
						-	-	-	-	-	-	-	3 Monate	
						C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
30	20	Peltigera	40	320	-10	-	-	-	-	-	-	-		Vor Behandlung
						-	-	-	-	(-)	(-)	(-)	2 Wochen	
						-	-	-	-	Mist fehlt	-	Flechte fehlt	1.5 Monate	
						vereist	vereist	vereist	vereist	fehlt	vereist	fehlt	3 Monate	
30	21	Lobaria	30-130	340-30	-5-10	C1	C2	Gülle	Kontrolle	Mist	S	SW		
						-	-	-	-	-	-	-		Vor Behandlung
						-	-	-	-	(-)	Flechte fehlt	Flechte fehlt	2 Wochen	
						-	-	-	-	braune Verfärbung, lokal	Flechte fehlt	Flechte fehlt	1.5 Monate	
30	21	Lobaria	30-130	340-30	-5-10	-	-	-	-	braune Verfärbung, lokal	Flechte fehlt	Flechte fehlt	3 Monate	
						-	-	-	-	-	-	-		

E Datentabelle und Syntax der statistischen Auswertung

E.1. Datentabelle

ID	Baum	Art	Behandlung	Veränderung	Art_num	Behandlung_num
1	1	Parmelia	C1	1	1	4
2	1	Parmelia	C2	0	1	5
3	1	Parmelia	Gülle	0	1	2
4	1	Parmelia	Kontrolle	0	1	1
5	1	Parmelia	Mist	1	1	3
6	1	Parmelia	S	0	1	6
7	1	Parmelia	SW	0	1	7
8	1	Evernia	C1	1	2	4
9	1	Evernia	C2	0	2	5
10	1	Evernia	Gülle	0	2	2
11	1	Evernia	Kontrolle	0	2	1
12	1	Evernia	Mist	1	2	3
13	1	Evernia	S	0	2	6
14	1	Evernia	SW	0	2	7
15	2	Parmelia	C1	0	1	4
16	2	Parmelia	C2	0	1	5
17	2	Parmelia	Gülle	1	1	2
18	2	Parmelia	Kontrolle	0	1	1
19	2	Parmelia	Mist	NA	1	3
20	2	Parmelia	S	0	1	6
21	2	Parmelia	SW	0	1	7
22	2	Peltigera	C1	NA	3	4
23	2	Peltigera	C2	NA	3	5
24	2	Peltigera	Gülle	NA	3	2
25	2	Peltigera	Kontrolle	NA	3	1
26	2	Peltigera	Mist	NA	3	3
27	2	Peltigera	S	NA	3	6
28	2	Peltigera	SW	NA	3	7
29	2	Evernia	C1	0	2	4
30	2	Evernia	C2	0	2	5
31	2	Evernia	Gülle	0	2	2
32	2	Evernia	Kontrolle	0	2	1
33	2	Evernia	Mist	1	2	3
34	2	Evernia	S	0	2	6
35	2	Evernia	SW	0	2	7
36	4	Peltigera	C1	0	3	4
37	4	Peltigera	C2	0	3	5
38	4	Peltigera	Gülle	0	3	2
39	4	Peltigera	Kontrolle	0	3	1
40	4	Peltigera	Mist	NA	3	3

41	4	Peltigera	S	0	3	6
42	4	Peltigera	SW	0	3	7
43	5	Peltigera	C1	NA	3	4
44	5	Peltigera	C2	NA	3	5
45	5	Peltigera	Gülle	NA	3	2
46	5	Peltigera	Kontrolle	0	3	1
47	5	Peltigera	Mist	NA	3	3
48	5	Peltigera	S	NA	3	6
49	5	Peltigera	SW	0	3	7
50	5	Ramalina	C1	1	4	4
51	5	Ramalina	C2	0	4	5
52	5	Ramalina	Gülle	1	4	2
53	5	Ramalina	Kontrolle	0	4	1
54	5	Ramalina	Mist	1	4	3
55	5	Ramalina	S	1	4	6
56	5	Ramalina	SW	1	4	7
57	6	Parmelia	C1	0	1	4
58	6	Parmelia	C2	0	1	5
59	6	Parmelia	Gülle	0	1	2
60	6	Parmelia	Kontrolle	0	1	1
61	6	Parmelia	Mist	1	1	3
62	6	Parmelia	S	NA	1	6
63	6	Parmelia	SW	1	1	7
64	6	Peltigera	C1	0	3	4
65	6	Peltigera	C2	0	3	5
66	6	Peltigera	Gülle	0	3	2
67	6	Peltigera	Kontrolle	0	3	1
68	6	Peltigera	Mist	1	3	3
69	6	Peltigera	S	0	3	6
70	6	Peltigera	SW	0	3	7
71	6	Evernia	C1	0	2	4
72	6	Evernia	C2	0	2	5
73	6	Evernia	Gülle	0	2	2
74	6	Evernia	Kontrolle	0	2	1
75	6	Evernia	Mist	NA	2	3
76	6	Evernia	S	0	2	6
77	6	Evernia	SW	1	2	7
78	7	Leptogium	C1	NA	5	4
79	7	Leptogium	C2	0	5	5
80	7	Leptogium	Gülle	0	5	2
81	7	Leptogium	Kontrolle	0	5	1
82	7	Leptogium	Mist	0	5	3
83	7	Leptogium	S	NA	5	6
84	7	Leptogium	SW	0	5	7
85	7	Parmelia	C1	0	1	4
86	7	Parmelia	C2	0	1	5
87	7	Parmelia	Gülle	1	1	2
88	7	Parmelia	Kontrolle	0	1	1

89	7	Parmelia	Mist	1	1	3
90	7	Parmelia	S	0	1	6
91	7	Parmelia	SW	0	1	7
92	7	Peltigera	C1	NA	3	4
93	7	Peltigera	C2	NA	3	5
94	7	Peltigera	Gülle	NA	3	2
95	7	Peltigera	Kontrolle	NA	3	1
96	7	Peltigera	Mist	NA	3	3
97	7	Peltigera	S	NA	3	6
98	7	Peltigera	SW	NA	3	7
99	7	Evernia	C1	0	2	4
100	7	Evernia	C2	0	2	5
101	7	Evernia	Gülle	1	2	2
102	7	Evernia	Kontrolle	0	2	1
103	7	Evernia	Mist	1	2	3
104	7	Evernia	S	0	2	6
105	7	Evernia	SW	NA	2	7
106	8	Leptogium	C1	0	5	4
107	8	Leptogium	C2	0	5	5
108	8	Leptogium	Gülle	0	5	2
109	8	Leptogium	Kontrolle	NA	5	1
110	8	Leptogium	Mist	0	5	3
111	8	Leptogium	S	0	5	6
112	8	Leptogium	SW	NA	5	7
113	8	Peltigera	C1	NA	3	4
114	8	Peltigera	C2	NA	3	5
115	8	Peltigera	Gülle	NA	3	2
116	8	Peltigera	Kontrolle	NA	3	1
117	8	Peltigera	Mist	NA	3	3
118	8	Peltigera	S	NA	3	6
119	8	Peltigera	SW	NA	3	7
120	9	Parmelia	C1	0	1	4
121	9	Parmelia	C2	0	1	5
122	9	Parmelia	Gülle	0	1	2
123	9	Parmelia	Kontrolle	0	1	1
124	9	Parmelia	Mist	1	1	3
125	9	Parmelia	S	0	1	6
126	9	Parmelia	SW	NA	1	7
127	9	Peltigera	C1	NA	3	4
128	9	Peltigera	C2	NA	3	5
129	9	Peltigera	Gülle	NA	3	2
130	9	Peltigera	Kontrolle	NA	3	1
131	9	Peltigera	Mist	NA	3	3
132	9	Peltigera	S	NA	3	6
133	9	Peltigera	SW	NA	3	7
134	10	Parmelia	C1	0	1	4
135	10	Parmelia	C2	0	1	5
136	10	Parmelia	Gülle	0	1	2

137	10	Parmelia	Kontrolle	0	1	1
138	10	Parmelia	Mist	1	1	3
139	10	Parmelia	S	1	1	6
140	10	Parmelia	SW	0	1	7
141	10	Peltigera	C1	0	3	4
142	10	Peltigera	C2	0	3	5
143	10	Peltigera	Gülle	0	3	2
144	10	Peltigera	Kontrolle	0	3	1
145	10	Peltigera	Mist	0	3	3
146	10	Peltigera	S	NA	3	6
147	10	Peltigera	SW	NA	3	7
148	11	Peltigera	C1	0	3	4
149	11	Peltigera	C2	0	3	5
150	11	Peltigera	Gülle	0	3	2
151	11	Peltigera	Kontrolle	0	3	1
152	11	Peltigera	Mist	0	3	3
153	11	Peltigera	S	0	3	6
154	11	Peltigera	SW	0	3	7
155	11	Peltigera	C1	0	3	4
156	11	Peltigera	C2	0	3	5
157	11	Peltigera	Gülle	0	3	2
158	11	Peltigera	Kontrolle	0	3	1
159	11	Peltigera	Mist	0	3	3
160	11	Peltigera	S	NA	3	6
161	11	Peltigera	SW	NA	3	7
162	12	Leptogium	C1	0	5	4
163	12	Leptogium	C2	0	5	5
164	12	Leptogium	Gülle	0	5	2
165	12	Leptogium	Kontrolle	0	5	1
166	12	Leptogium	Mist	0	5	3
167	12	Leptogium	S	NA	5	6
168	12	Leptogium	SW	0	5	7
169	12	Peltigera	C1	0	3	4
170	12	Peltigera	C2	0	3	5
171	12	Peltigera	Gülle	0	3	2
172	12	Peltigera	Kontrolle	0	3	1
173	12	Peltigera	Mist	0	3	3
174	12	Peltigera	S	0	3	6
175	12	Peltigera	SW	0	3	7
176	14	Leptogium	C1	0	5	4
177	14	Leptogium	C2	0	5	5
178	14	Leptogium	Gülle	NA	5	2
179	14	Leptogium	Kontrolle	0	5	1
180	14	Leptogium	Mist	NA	5	3
181	14	Leptogium	S	0	5	6
182	14	Leptogium	SW	NA	5	7
183	14	Peltigera	C1	NA	3	4
184	14	Peltigera	C2	0	3	5

185	14	Peltigera	Gülle	0	3	2
186	14	Peltigera	Kontrolle	0	3	1
187	14	Peltigera	Mist	0	3	3
188	14	Peltigera	S	0	3	6
189	14	Peltigera	SW	NA	3	7
190	14	Pertusar	C1	0	6	4
191	14	Pertusar	C2	0	6	5
192	14	Pertusar	Gülle	0	6	2
193	14	Pertusar	Kontrolle	0	6	1
194	14	Pertusar	Mist	1	6	3
195	14	Pertusar	S	0	6	6
196	14	Pertusar	SW	0	6	7
197	15	Parmelia	C1	1	1	4
198	15	Parmelia	C2	0	1	5
199	15	Parmelia	Gülle	1	1	2
200	15	Parmelia	Kontrolle	0	1	1
201	15	Parmelia	Mist	1	1	3
202	15	Parmelia	S	0	1	6
203	15	Parmelia	SW	1	1	7
204	16	Leptogium	C1	NA	5	4
205	16	Leptogium	C2	NA	5	5
206	16	Leptogium	Gülle	NA	5	2
207	16	Leptogium	Kontrolle	NA	5	1
208	16	Leptogium	Mist	NA	5	3
209	16	Leptogium	S	NA	5	6
210	16	Leptogium	SW	NA	5	7
211	16	Peltigera	C1	0	3	4
212	16	Peltigera	C2	0	3	5
213	16	Peltigera	Gülle	0	3	2
214	16	Peltigera	Kontrolle	NA	3	1
215	16	Peltigera	Mist	NA	3	3
216	16	Peltigera	S	0	3	6
217	16	Peltigera	SW	NA	3	7
218	17	Leptogium	C1	0	5	4
219	17	Leptogium	C2	0	5	5
220	17	Leptogium	Gülle	0	5	2
221	17	Leptogium	Kontrolle	0	5	1
222	17	Leptogium	Mist	0	5	3
223	17	Leptogium	S	0	5	6
224	17	Leptogium	SW	0	5	7
225	17	Peltigera	C1	NA	3	4
226	17	Peltigera	C2	NA	3	5
227	17	Peltigera	Gülle	NA	3	2
228	17	Peltigera	Kontrolle	NA	3	1
229	17	Peltigera	Mist	NA	3	3
230	17	Peltigera	S	NA	3	6
231	17	Peltigera	SW	NA	3	7
232	18	Parmelia	C1	1	1	4

233	18	Parmelia	C2	0	1	5
234	18	Parmelia	Gülle	0	1	2
235	18	Parmelia	Kontrolle	0	1	1
236	18	Parmelia	Mist	1	1	3
237	18	Parmelia	S	0	1	6
238	18	Parmelia	SW	1	1	7
239	18	Peltigera	C1	0	3	4
240	18	Peltigera	C2	0	3	5
241	18	Peltigera	Gülle	0	3	2
242	18	Peltigera	Kontrolle	0	3	1
243	18	Peltigera	Mist	0	3	3
244	18	Peltigera	S	0	3	6
245	18	Peltigera	SW	0	3	7
246	18	Evernia	C1	0	2	4
247	18	Evernia	C2	0	2	5
248	18	Evernia	Gülle	1	2	2
249	18	Evernia	Kontrolle	NA	2	1
250	18	Evernia	Mist	1	2	3
251	18	Evernia	S	0	2	6
252	18	Evernia	SW	0	2	7
253	19	Leptogium	C1	0	5	4
254	19	Leptogium	C2	0	5	5
255	19	Leptogium	Gülle	0	5	2
256	19	Leptogium	Kontrolle	0	5	1
257	19	Leptogium	Mist	0	5	3
258	19	Leptogium	S	0	5	6
259	19	Leptogium	SW	0	5	7
260	19	Parmelia	C1	0	1	4
261	19	Parmelia	C2	1	1	5
262	19	Parmelia	Gülle	1	1	2
263	19	Parmelia	Kontrolle	0	1	1
264	19	Parmelia	Mist	0	1	3
265	19	Parmelia	S	0	1	6
266	19	Parmelia	SW	NA	1	7
267	19	Peltigera	C1	0	3	4
268	19	Peltigera	C2	0	3	5
269	19	Peltigera	Gülle	0	3	2
270	19	Peltigera	Kontrolle	0	3	1
271	19	Peltigera	Mist	0	3	3
272	19	Peltigera	S	0	3	6
273	19	Peltigera	SW	0	3	7
274	20	Leptogium	C1	0	5	4
275	20	Leptogium	C2	0	5	5
276	20	Leptogium	Gülle	0	5	2
277	20	Leptogium	Kontrolle	0	5	1
278	20	Leptogium	Mist	0	5	3
279	20	Leptogium	S	0	5	6
280	20	Leptogium	SW	0	5	7

281	20	Parmelia	C1	0	1	4
282	20	Parmelia	C2	0	1	5
283	20	Parmelia	Gülle	0	1	2
284	20	Parmelia	Kontrolle	0	1	1
285	20	Parmelia	Mist	1	1	3
286	20	Parmelia	S	0	1	6
287	20	Parmelia	SW	0	1	7
288	20	Peltigera	C1	NA	3	4
289	20	Peltigera	C2	NA	3	5
290	20	Peltigera	Gülle	NA	3	2
291	20	Peltigera	Kontrolle	NA	3	1
292	20	Peltigera	Mist	NA	3	3
293	20	Peltigera	S	NA	3	6
294	20	Peltigera	SW	NA	3	7
295	21	Lobaria	C1	0	7	4
296	21	Lobaria	C2	0	7	5
297	21	Lobaria	Gülle	0	7	2
298	21	Lobaria	Kontrolle	0	7	1
299	21	Lobaria	Mist	1	7	3
300	21	Lobaria	S	NA	7	6
301	21	Lobaria	SW	NA	7	7

E.2. Syntax

Filter für *P. sulcata* und *E. prunastri*

USE ALL.

COMPUTE filter_\$=(Art_num = 1 | Art_num = 2).

VARIABLE LABELS filter_\$ 'Art_num = 1 | Art_num = 2 (FILTER)'.
 VALUE LABELS filter_\$ 0 'Not Selected' 1 'Selected'.

FORMATS filter_\$ (f1.0).

FILTER BY filter_\$.

EXECUTE.

Filter für *P. sulcata*, *E. prunastri* und *R. fraxinea*

USE ALL.

COMPUTE filter_\$=(Art_num = 1 | Art_num = 2 | Art_num = 4).

VARIABLE LABELS filter_\$ 'Art_num = 1 | Art_num = 2 | Art_num = 4 (FILTER)'.
 VALUE LABELS filter_\$ 0 'Not Selected' 1 'Selected'.

FORMATS filter_\$ (f1.0).

FILTER BY filter_\$.

EXECUTE.

Chi-Quadrat-Test für Art und Veränderung

CROSSTABS

/TABLES=Veränderung BY Art_num

```
/FORMAT=AVALUE TABLES  
/STATISTICS=CHISQ CC PHI BTAU  
/CELLS=COUNT COLUMN  
/COUNT ROUND CELL  
/METHOD=EXACT TIMER(5).
```

Chi-Quadrat-Test für Behandlung und Veränderung

```
CROSSTABS  
  /TABLES=Veränderung BY Behandlung_num  
  /FORMAT=AVALUE TABLES  
  /STATISTICS=CHISQ CC PHI BTAU  
  /CELLS=COUNT COLUMN  
  /COUNT ROUND CELL  
  /METHOD=EXACT TIMER(5).
```

Kolmogorov-Smirnov Test auf Normalverteilung

```
NPAR TESTS  
  /K-S(NORMAL)=Veränderung  
  /MISSING ANALYSIS.
```

Kruskal-Wallis Test für Art und Veränderung

```
NPTESTS  
  /INDEPENDENT TEST(Veränderung) GROUP(Art_num)  
  KRUSKAL_WALLIS  
  /MISSING SCOPE=ANALYSIS USERMISSING=EXCLUDE  
  /Criteria ALPHA=0.05 CILEVEL=95.
```

Kruskal-Wallis Test für Behandlung und Veränderung

```
NPTESTS  
  /INDEPENDENT TEST(Veränderung) GROUP(Behandlung_num)  
  KRUSKAL_WALLIS  
  /MISSING SCOPE=ANALYSIS USERMISSING=EXCLUDE  
  /Criteria ALPHA=0.05 CILEVEL=95.
```

Dunn-Bonferroni Test (Post-hoc) für Behandlung und Veränderung für *P. sulcata* und *E. prunastri*

Sample1-Sample2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj.Sig.
Kontrolle-C2	-3.267	8.268	-.395	.693	1.000
Kontrolle-S	-3.500	8.410	-.416	.677	1.000
Kontrolle-C1	-13.067	8.268	-1.580	.114	1.000
Kontrolle-SW	-16.333	8.753	-1.866	.062	1.000
Kontrolle-Gülle	-19.600	8.268	-2.371	.018	.373
Kontrolle-Mist	-45.231	8.570	-5.278	.000	.000
C2-S	-.233	8.268	-.028	.977	1.000
C2-C1	9.800	8.124	1.206	.228	1.000
C2-SW	-13.067	8.617	-1.516	.129	1.000
C2-Gülle	16.333	8.124	2.010	.044	.932
C2-Mist	41.964	8.431	4.977	.000	.000
S-C1	9.567	8.268	1.157	.247	1.000

S-SW	-12.833	8.753	-1.466	.143	1.000
S-Gülle	16.100	8.268	1.947	.052	1.000
S-Mist	41.731	8.570	4.870	.000	.000
C1-SW	-3.267	8.617	-.379	.705	1.000
C1-Gülle	6.533	8.124	.804	.421	1.000
C1-Mist	32.164	8.431	3.815	.000	.003
SW-Gülle	3.267	8.617	.379	.705	1.000
SW-Mist	28.897	8.907	3.244	.001	.025
Gülle-Mist	-25.631	8.431	-3.040	.002	.050

Dunn-Bonferroni Test (Post-hoc) für Art und Veränderung für *P. sulcata*, *E. prunastri* und *R. fraxinea*

Each node shows the sample average rank of Art numerisch.

Sample1-Sample2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj.Sig.
Evernia-Parmelia	2.784	5.275	.528	.598	1.000
Evernia-Ramalina	-24.375	10.218	-2.385	.017	.051
Parmelia-Ramalina	-21.591	9.734	-2.218	.027	.080

Dunn-Bonferroni Test (Post-hoc) für Behandlung und Veränderung für *P. sulcata*, *E. prunastri* und *R. fraxinea*

Sample1-Sample2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj.Sig.
Kontrolle-C2	-3.281	8.801	-.373	.709	1.000
Kontrolle-S	-7.000	8.942	-.783	.434	1.000
Kontrolle-C1	-16.406	8.801	-1.864	.062	1.000
Kontrolle-SW	-20.192	9.280	-2.176	.030	.621
Kontrolle-Gülle	-22.969	8.801	-2.610	.009	.190
Kontrolle-Mist	-48.750	9.100	-5.357	.000	.000
C2-S	-3.719	8.801	-.423	.673	1.000
C2-C1	13.125	8.658	1.516	.130	1.000
C2-SW	-16.911	9.144	-1.849	.064	1.000
C2-Gülle	19.688	8.658	2.274	.023	.482
C2-Mist	45.469	8.962	5.073	.000	.000
S-C1	9.406	8.801	1.069	.285	1.000

S-SW	-13.192	9.280	-1.422	.155	1.000
S-Gülle	15.969	8.801	1.814	.070	1.000
S-Mist	41.750	9.100	4.588	.000	.000
C1-SW	-3.786	9.144	-.414	.679	1.000
C1-Gülle	6.562	8.658	.758	.448	1.000
C1-Mist	32.344	8.962	3.609	.000	.006
SW-Gülle	2.776	9.144	.304	.761	1.000
SW-Mist	28.558	9.432	3.028	.002	.052
Gülle-Mist	-25.781	8.962	-2.877	.004	.084